



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

치의학석사 학위논문

기계적 특성이 강화된  
CAD/CAM 하이브리드 블록의  
색 안정성과 투명도 평가

2020년 8월

서울대학교 대학원  
치의과학과 치과생체재료과학 전공

강 영 아

# 기계적 특성이 강화된 CAD/CAM 하이브리드 블록의 색 안정성과 투명도 평가

지도교수 임 범 순

이 논문을 치의학 석사학위논문으로 제출함.

2020년 6월

서울대학교 대학원  
치위과학과 치과생체재료과학 전공

강 영 아

위 원 장 \_\_\_\_\_인

부위원장 \_\_\_\_\_인

위 원 \_\_\_\_\_인

## 학위논문 원문 이용에 대한 동의서

본인은 아래의 학위논문이 제3자의 권리를 침해하지 않았음을 서약하며, 서울대학교가 다음과 같이 저작물을 이용하는 것에 동의합니다.

논문 제목	기계적 특성이 강화된 CAD/CAM 하이브리드 블록의 색 안정성과 투명도 평가
학위 구분	석사 ■
학 과	치의학과
학 번	2014-22039
연 락 처	02) 740-8694

1. 본인은 서울대학교가 위 저작물을 인터넷 등 정보통신망을 통해 복제·전송·배포하는 것에 동의합니다.
2. 본인은 서울대학교가 위 저작물에 대해 무료로 온라인 서비스를 제공하는 것에 동의합니다.
3. 서울대학교는 내용을 변경하지 않는 범위 안에서 위 저작물을 다른 파일 형식으로 변경할 수 있습니다.
4. 본인은 위 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락하는 등 동의 내용을 변경하고자 할 경우 소속대학(원)에 공개의 유보 또는 해지를 즉시 통보하겠습니다.
5. 서울대학교는 저작권법 및 도서관법을 준수하며 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않습니다.

제 출 일 : 2020 년 7 월 일

저 작 자 : 강 영 아 (인)

서울대학교총장 귀하

# 기계적 특성이 강화된 CAD/CAM 하이브리드 블록의 색 안정성과 투명도 평가

치과생체재료과학 전공

(지도교수: 임 범 순)

강 영 아

치과 진료 관련 환자들의 심미성에 대한 관심 증가와 고령화 사회로의 진입에 따라 전치부 뿐 아니라 강한 응력을 받는 구치부에서도 심미 수복재의 역할은 중요해졌다. 대표적인 치과용 심미 수복재로 컴포ジット 레진과 세라믹이 적용 부위에 따라 선택적으로 사용되어져왔다. 그리고 두 소재의 장점을 조절한 CAD/CAM 하이브리드 컴포ジット 레진 블록이 소개되어 심미 진료의 범위가 넓어졌다. 최근 제조사들은 강한 저작력에도 견딜 수 있는 충분한 기계적 특성을 지닌 구치부 적용이 가능한 물성-강화형 CAD/CAM 하이브리드 컴포ジット 레진 블록을 출시하였다. 물성을 강화시키기 위해 블록의 구성 성분과 미세 구조를 변화시켰을 것이라 추정된다. 본 논문에서는 그러한 변화가 CAD/CAM 하이브리드 컴포ジット 레진 블록의 주요 특성인 심미성, 특히 색 안정성에 주는 영향을 평가하고자 하였다.

국내·외 5 개 제조사에서 출시된 일반형과 물성-강화형 하이브리드 블록 5 쌍 (Cerasmart 200, Cerasmart 300; KZR-CAD HR, KZR-CAD HR3; Estelite Block, Estelite P Block; Katana Avencia Block, Katana Avencia P Block; Mazic Duro, Duro Ace)을 대상으로 시험하였다. CAD/CAM 하이브리드 컴포ジット 레진 블록을 저속다이아몬드로 절단한 다음 SiC 연마지 (#2,000)로 양면을 연마하여 사각형 (약 10 mm × 10 mm, 두께 2 mm) 시편을 각각 9 개씩 준비하였다. 시편은 spectrophotometer (CiXX0, X-rite, USA)를 이용하여 배경이 없는 상태와 2 mm 두께의 검

은색과 흰색 아크릴판의 서로 다른 두 배경조건에서 D65 광원을 사용하여 SCE 모드로 각각  $L^*a^*b^*$  값을 측정하였다. 색 안정성을 평가하기 위한 착색 용액으로는 3차 증류수, 10 % 에탄올, 실험용 레드 와인을 사용하였다. 500 mL 삼각플라스크에 증류수 (270 mL)와 에탄올 (30 mL)을 넣고 파라필름으로 밀봉한 다음 교반기에서 1 시간 균일하게 혼합하여 10 % 에탄올을 준비하였고, 500 mL 삼각플라스크에 증류수 (270 mL), 에탄올 (30 mL), 식용 적색 색소로 사용되는 표준물질인 Kuromanin chloride (CAS No. 7084-24-4) 13 mg을 넣고 파라필름으로 밀봉한 다음 교반기에서 1 시간 균일하게 혼합하여 실험용 레드 와인을 준비하였다. 기준 값 (base line) 색 계수 (CIE  $L^*a^*b^*$ ) 측정을 완료한 시편은 50 mL 코니컬 튜브에 시편 1 개와 종류별 착색 용액 10 mL를 넣고 37 °C 교반형 오븐에서 색 측정 전까지 일정 기간 (1 주, 2 주, 4 주, 6 주, 8 주, 12 주) 교반 처리하였다. 착색 용액은 2 주마다 새로운 용액으로 교체하였다. 일정 기간 착색 용액으로 처리한 시편은 측정하기 전 용액에서 꺼내 실험실 티슈 (킴 와이프스)로 표면을 닦아내고 에어 드라이하였다. 각 시편마다 측정 위치를 변경하며 3 회씩 색 계수를 측정하여 그 평균값을 구한 후 색 변화 ( $\Delta E^*$ )와 반투명도 (TP) 변화를 계산하였고, 측정값은 Tukey-multiple comparison test ( $p = 0.05$ )로 통계 분석하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 대부분의 경우 증류수와 10 % 에탄올에서는 육안으로 식별이 가능한 수준 이하의 색 변화 ( $\Delta E < 3.3$ )를 나타냈고, 반투명도도 침지기간에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $p > 0.05$ ).
2. 실험용 레드 와인에서는 육안으로 충분히 식별 가능한 수준의 색 변화가 관찰되었다. 실험용 레드 와인에 침지한 실험군의 경우는 침지기간이 증가될수록 색 변화도 증가하는 양상을 보였다. 반투명도 또한 유의하게 감소하였는데 주로 용액에 침지한 4 주 후 측정부터 반투명도가 큰 폭으로 감소되는 것을 관찰할 수 있었다.
3. Mazic Duro/Duro Ace를 제외한 대부분의 실험군에서 물성-강화형 블록이 일반형 블록보다 색 안정성이 낮은 것으로 나타났다.
4. Katana Avencia P Block은 Katana Avencia Block에 비해 현저히 저하된 색 안정성을 나타냈는데, 다른 실험군들이 대부분 실험용 레드

와인에서만 색 변화를 나타낸 것과 달리, 증류수와 10 % 에탄올에서도 육안으로 확인 가능한 색 변화와 반투명도 감소를 보였다.

5. 실험용 레드 와인에 침지하였을 때 KZR-CAD HR3의 반투명도 변화량이 KZR-CAD HR 보다 많았다.
6. Estelite Block/Estelite P Block 실험군과 Mazic Duro/Duro Ace 실험군은 다른 실험군보다 낮은 정도의 색 변화를 보였으며, 물성-강화형인 Duro Ace는 Mazic Duro보다 색 안정성이 다소 높았으며 반투명도 유지도 잘되는 것으로 나타났다.

---

주요어 : CAD/CAM 하이브리드 블록, 물성-강화형, 색 변화, 반투명도,  
실험용 레드 와인

학 번 : 2014-22039

# 기계적 특성이 강화된 CAD/CAM 하이브리드 블록의 색 안정성과 투명도 평가

치과생체재료과학 전공

(지도교수: 임범순)

강 영 아

## 목 차

I. 서 론

II. 연구재료 및 방법

III. 연구결과

IV. 총괄 및 고안

V. 결 론

참고 문헌

영문 초록

## I. 서 론

치과 치료의 목표는 건강과 기능의 회복 그리고 외양의 재건이다. 현



대 사회에는 기능에 이상이 없어도 자신감, 사회적 활동 등의 이유로 외양의 개선을 위해 심미적인 목적으로 치과를 방문하는 사람도 많은 비중을 차지한다. 거의 모든 정보가 공개되고 공유되는 정보화 사회가 되면서 치과 산업 종사자가 아닌 일반인들도 치과 치료과정 및 재료 관련 많은 정보를 접할 수 있게 되었고, 이는 결과적으로 환자들의 심미적 관심을 크게 증가시켰다. 특히 한국은 고령화 사회에 접어들며 젊은 사람들뿐 아니라 나이 든 사람들도 대인관계 및 개인의 자신감 회복과 같은 비기능적인 이유로 치과를 찾는 사람이 증가하고 있다 (통계청 장래인구추계, 2019; 세계와 한국의 인구현황 및 전망, 2019). 이러한 추세에서 임상 의들도 환자들의 요구에 맞춰 자연치와 유사한 심미 수복재를 선호하게 되어 현대 치의학에서 심미 수복재의 역할은 매우 중요하다 (Awad 등, 2015; Ferracane, 2011).

자연치와 유사한 심미 수복재 중에서 많이 사용되고 있는 재료로 치과용 컴포짓트 레진과 치과용 세라믹이 있다 (Ferracane, 2011; Seyidaliyeva 등, 2020). 컴포짓트 레진은 임상에서 직접 수복이 가능하여 사용이 편리하고, 다양한 부위에 적용될 수 있다. 탄성과 낮은 대합치 마모도로 자연치와 어우러지기에 적합한 물성을 지니고 있다. 다만 미중합 모노머에 의한 치수 자극 위험성과 중합수축에 따른 미세누출의 발생으로 심미성이 떨어지는 부작용이 나타나기도 한다. 또 다른 심미 수복재인 세라믹은 화학적 안정성, 생체친화성, 충분한 강도, 치태 흡착 억제 및 높은 반투명도 등을 가지고 있다 (Chakravarthy 등, 2018). 다만 주로 간접법으로 치아 수복에 이용되기 때문에 인상 채득과 가공 과정이 필요하여 컴포짓트 레진에 비해서 시간과 비용이 더 들어가고, 견고하고 단단하며 부서지기 쉬운 성질이 있어 대합 자연치에 과도한 마모를 일으킬 수 있고 부서질 수 있으며 작업성에 한계가 있다 (Lee 등, 2014).

치과 재료 제조사들은 심미 수복재의 중요한 두 재료인 컴포짓트 레진과 세라믹의 장점을 결합하여 새로운 개념의 CAD/CAM 하이브리드 블록을 소개하였다. 그 결과 컴포짓트 레진의 탄성과 낮은 대합치 마모, 세라믹의 강도와 색 안정성을 조합한 CAD/CAM 하이브리드 컴포짓트 레진 블록이 상용화되어 임상에서 적용할 수 있는 심미 수복재 선택권이 넓어졌다 (Seyidaliyeva 등, 2020; Mourouzis 등, 2020). 이러한 심미 수복

재들은 주로 전치부에 사용되어져 왔지만 고령화와 맞물려 구치부에서도 심미 수복재를 선택하려는 요구가 높아지고 있으며, 이에 상응하여 제조사들은 전치부에 비해 큰 저작력에도 견딜 수 있도록 구성 성분과 미세 구조 등을 변화시켜 충분한 기계적 특성을 가지는 구치부용 물성-강화형 CAD/CAM 하이브리드 블록을 개발하였다.

심미성 재료의 경우 기계적인 성질 뿐 아니라 색 안정성도 손상된 치아 수복의 성공과 유지에 중요한 특성이다 (Stawarczyk 등, 2012; Acar 등, 2016; Chakravarthy 등, 2018). 심미 수복재의 색 변화는 구강 위생,식이습관 및 흡연 등에 따라 다양하게 나타날 수 있는데, 색소를 함유한 음식물의 섭취에 의해 변색 혹은 반투명도 상실 등이 야기될 수도 있다 (Patel 등, 2004; Ertaş 등, 2006; Schroeder 등, 2019). 그리고 레진 기질의 성분과 함량, 세라믹 필러의 성분과 함량, 재료의 수분 흡수도와 용해도 및 레진 기질의 중합정도 등도 심미 수복재의 색 안정성에 중요한 영향을 미칠 수 있다 (Dietschi 등, 1994; Alharbi 등, 2017; Lee, 2008)

심미 수복재의 색 안정성은 육안으로 평가할 수 있지만 colorimeter, spectrophotometer 및 spectroradiometer 등의 분석 장비를 이용하여 평가할 수 있으며 CIE  $L^*a^*b^*$  시스템으로 표준 평가기준을 적용할 수 있다 (Bagheri 등, 2005). CIE  $L^*a^*b^*$  색 공간 시스템은 육안평가에 사용하는 Munsell 색 체계와 유사하게 균일한 색 체계를 목표로 하여 색 공간에서 같은 거리만큼 떨어진 색채가 인간의 눈에도 같은 크기만큼의 색 차이로 인지될 수 있게 구성되었다. CIE  $L^*a^*b^*$  색 공간에서  $L^*$  값은 재료의 밝기 (lightness)를 나타낸다.  $L^* = 0$  이면 검은색이며,  $L^* = 100$  이면 흰색을 나타낸다.  $a^*$ 는 빨강 (+a)과 초록 (-a) 중 어느 쪽으로 치우쳤는지를 나타내고,  $b^*$ 는 노랑 (+b)과 파랑 (-b) 중 어느 쪽으로 치우쳤는지를 나타낸다 (Chang 등, 2012).

심미 수복재의 색 안정성을 평가하고자 할 때 주로 사용되는 음식 및 음료에는 대표적으로 커피, 와인, 차, 콜라 및 카레 등이 있으며, 색이 있는 음료 중 특히 레드 와인이 수복물의 색 변화에 결정적인 영향을 미친다는 것은 여러 문헌을 통해 보고된 바 있다 (Patel 등, 2004; Ertaş 등, 2006; Acar 등, 2016; Quek 등, 2018; Chakravarthy 등, 2018). 레드 와인

내에 함유된 안토시아닌 계열의 색소가 영향을 미치는 것으로 판단되고 있으나, 대부분의 실험에 쓰인 재료는 시판되는 상용 레드 와인이기 때문에 안토시아닌의 영향을 정량적으로 비교하기는 어려웠다. 본 논문에서는 안토시아닌 색소와 에탄올 (알코올)로 직접 유사 와인 용액을 준비하여 보다 정량적인 평가를 진행하였다. 알코올 또한 수복물의 색 안정성에 영향을 미치는 것으로 의심되는 요소이다. 알코올이 함유된 구강가글 용액은 알코올을 함유하지 않는 가글 용액에 비해 변색을 더 일으키는 것이 확인되기도 하였다. 그리고 맥주나 위스키 같은 알코올 함유 음료에 노출된 레진에서 눈에 띄는 변색이 보고되기도 하였다 (Hwang 등, 2017; Khosravi 등, 2016; Bansal 등, 2012).

본 논문에서는 구치부용으로 최근에 출시된 다양한 물성-강화형 CAD/CAM 하이브리드 블록을 에탄올 단일 또는 에탄올과 색소가 혼합된 용액에 노출시켰을 때 나타나는 색 변화와 반투명도 변화를 비교 평가하고자 하였다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1) 연구 재료

국내·외 5 개 제조사에서 출시된 10 종의 하이브리드 블록을 이용하였다. GC (Japan)에서 출시한 Cerasmart 200과 물성-강화형인 Cerasmart 300, Yamakin (Japan)에서 출시한 KZR-CAD HR과 물성-강화형인 KZR-CAD HR3, Tokuyama Dental (Japan)에서 출시한 Estelite Block과 물성-강화형인 Estelite P Block, Kuraray (Japan)에서 출시한 Katana Avencia Block과 물성-강화형인 Katana Avencia P Block, 국내 제조사인 베리콤에서 개발한 Mazic Duro와 물성-강화형인 Duro Ace를 연구에 사용하였다.

**Table 1.** CAD/CAM hybrid composite resin blocks used in this study

Code	Name	Main components	Ceramic fraction
CER2	Cerasmart 200	Bis-MEPP, UDMA, DMA, Ba-glass, silica	71 wt.%
CER3	Cerasmart 300	UDMA, Bis-MEPP, Ba-glass, silica	78 wt.%
KZR	KZR-CAD HR	UDMA, TEGDMA, SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +ZrO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub>	79 wt.%
KZR3	KZR-CAD HR3	UDMA, DEGDMA, SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +ZrO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub>	75 wt.%
EST	Estelite Block	UDMA, TEGDMA, silica, silica-zirconia	75 wt.%
ESTP	Estelite P Block	Bis-MPEPP, UDMA, NPGDMA, silica, silica-zirconia filler	81 wt.%
AVE	Katana Avencia Block	UDMA, TEGDMA, silica, alumina filler	62 wt.%
AVEP	Katana Avencia P Block	UDMA, Ba-glass, silica	82 wt.%
MAZ	Mazic Duro	Bis-GMA, TEGDMA, silica, Ba-glass, ZrO <sub>2</sub>	77 wt.%

DRA	Duro Ace	UDMA, Bis-EMA, silica, Ba-glass	85 wt.%
-----	----------	------------------------------------	---------

## 2) 연구 방법

### (2-1) 시편 준비

각 CAD/CAM 하이브리드 컴포지트 레진 블록을 저속다이아몬드 톱 (Isomet 1000, Buehler, USA)으로 절단하여 사각형 (최소 10 mm × 10 mm, 두께 2 mm) 시편을 9 개씩 준비하였다. 시편의 표면은 실리콘 카바이드 (SiC) 연마지 (# 600, # 1000, # 1200, # 1500, # 2000)를 이용하여 순차적으로 연마하였다. 한 방향으로 연마한 다음 세척하고 이전의 연마 방향과 90°가 되도록 시편의 방향을 바꿔 연마를 시행하였다.

### (2-2) 시험 용액 준비

색 안정성 시험 용액으로는 3 차 증류수, 10 % 에탄올, 실험용 레드 와인을 사용하였다. 500 mL 삼각 플라스크에 증류수 (270 mL)와 에탄올 (30 mL)을 넣고 파라필름으로 밀봉한 다음 1 시간 동안 교반기에서 균일하게 혼합하여 10 % 에탄올을 준비하였고, 500 mL 삼각플라스크에 증류수 (270 mL), 에탄올 (30 mL), 식용 적색 색소로 사용되는 표준물질인 Kuromanin chloride (CAS No. 7084-24-4) 13 mg 넣고 파라필름으로 밀봉한 다음 1 시간 동안 교반기에서 균일하게 혼합하여 실험용 레드 와인을 준비하였다.

### (2-3) 색 계수 CIE $L^*a^*b^*$ 측정

제작한 시편은 spectrophotometer (CiXX0, X-rite, USA)를 이용하여 reflectance 측정모드로 배경이 없는 상태로  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  값을 측정하였다. 색 측정을 위한 광원은 자외선 영역을 대낮의 햇빛을 기준으로 하며 CIE와 ISO 기준규격에서 표준 광원으로 사용되는 D65 광원을 사용하여 정반사광 제거방식인 SCE모드로 측정하였다. 분석 장치에서 측정부위 직경이 6 mm인 mask를 사용하여 시편이 분석 장치의 mask 측정부를 완전히 덮도록 하여 시편 틈새로 빛이 누출되지 않도록 시편을 놓고 측정하였다.

표면을 연마한 시편을  $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ 로 유지된 오븐에서 24 시간 건조한 다음 색 계수 값을 측정하여 각 시편의 기준 값(CIE  $L_0a_0b_0$ )으로 하였다. 각 실험군 당 준비한 9 개의 시편 중 3 개씩 각 착색 용액에 침지시키고 색 변화를 관찰하였다. 기준 값 측정을 완료한 시편은 50 mL 코니컬 튜브에 시편 1 개와 종류별 착색 용액 10 mL를 넣고  $37^\circ\text{C}$  교반형 오븐에서 색 측정 전까지 일정 기간(1 주, 2 주, 4 주, 6 주, 8 주 및 12 주) 교반 처리하였다. 착색 용액은 2 주 간격으로 새로운 용액으로 교체하였다.

일정 기간 착색 용액으로 처리한 시편은 측정하기 전 용액에서 꺼내 킴와이프스로 표면을 닦아내고 공기로 건조시켰다. 각 시편마다 3 회씩 색 계수(CIE  $L_1a_1b_1$ ) 측정하여 그 평균값을 구하였다. 측정한  $L^*a^*b^*$  값과 아래 식을 이용하여 색 차이( $\Delta E^*$ )를 구하였다.

$$\Delta E^* = [(L_1 - L_0)^2 + (a_1 - a_0)^2 + (b_1 - b_0)^2]^{0.5}$$

#### (2-4) 반투명도(Translucency Parameter, TP) 측정

TP는 같은 시편에 대하여 2 mm 두께의 검은색 아크릴판과 2 mm 두께의 흰색 아크릴판의 서로 다른 두 배경조건에서  $L^*a^*b^*$  값을 3 회씩 측정하여 평균값을 구한 후 아래 식에 적용하여 계산하였다.

$$TP = [L_w - L_b]^2 + (a_w - a_b)^2 + (b_w - b_b)^2]^{0.5}$$

#### (2-5) 미세구조(microstructure) 관찰

각 시편(두께 1 mm)을 30 % HF 용액에 4 시간 침지하여 실리카 등의 세라믹 필러를 용해시킨 후 증류수에서 30 분간 초음파 세척하여 표면에 잔류된 분해 산물을 제거한 다음 주사전자현미경(S-4700, Hitachi, Japan)에서 5k, 10k 및 20k 배율로 하이브리드 블록의 미세구조를 관찰하여 비교하였다.

### III. 연구 결과



















Fig. 1은 12 주간 착색 용액에 침지한 후 관찰한 시편의 사진이다. 실험군에 따라 육안으로 색 변화를 구별할 수 있는 경우도 있었다. 증류수에서 Cerasmart-200의 색 변화( $\Delta E$ )가 Cerasmart-300보다 더 크게 관찰되었으나 유의한 차이는 없었으며 ( $p > 0.05$ ), 색 변화는 3.3 이하로 육안으로 구별할 수 없는 정도였다 (Fig. 2). 반면, 10 % 에탄올에서는 Cerasmart-200보다 Cerasmart-300이 더 많은 색 변화를 보였으나, 육안으로 구별할 수 있는 정도는 아니었다. 레드 와인에서는 28 일간 침지한 실험군에서부터 색 변화가 육안으로 구별할 수 있는 큰 값을 보였으며, Cerasmart-200보다 Cerasmart-300 시편에서의 색 변화가 유의하게 크게 관찰되었다 ( $p < 0.05$ ). 이후 레드 와인에서는 침지기간이 증가될수록 색 변화도 증가하는 양상을 보였다. 용액에 침지 전 측정한 초기 반투명도 (TP)는 Cerasmart-300 ( $10.19 \pm 0.70$ )보다 Cerasmart-200 ( $11.95 \pm 0.82$ )이 더 높은 반투명도를 보였다 (Table 2). Cerasmart-200은 증류수와 10



















**Table 2.** Translucency parameter (TP) of samples as a function of immersion periods in 3 different solutions



















Code	Solution	Base	7 d	14 d	28 d	42 d	56 d	84 d
CER2	DW	11.78 $\pm 0.15$	11.88 $\pm 0.53$	12.18 $\pm 0.50$	12.02 $\pm 0.26$	12.22 $\pm 0.25$	11.97 $\pm 0.51$	11.89 $\pm 0.13$
	10 % ethanol	11.85 $\pm 0.33$	12.02 $\pm 0.61$	12.24 $\pm 0.38$	11.69 $\pm 0.46$	11.82 $\pm 0.53$	11.61 $\pm 0.46$	11.81 $\pm 0.11$
	red wine	12.21 $\pm 1.54$	12.19 $\pm 1.44$	11.93 $\pm 1.50$	10.07 $\pm 0.96$	9.08 $\pm 0.88$	8.05 $\pm 0.88$	6.48 $\pm 0.97$
CER3	DW	9.98 $\pm 0.50$	10.10 $\pm 0.38$	10.29 $\pm 0.20$	10.23 $\pm 0.40$	10.32 $\pm 0.51$	10.02 $\pm 0.33$	10.16 $\pm 0.38$
	10 % ethanol	10.64 $\pm 1.03$	11.37 $\pm 0.92$	11.04 $\pm 1.03$	10.88 $\pm 0.91$	11.09 $\pm 0.73$	11.06 $\pm 0.71$	10.96 $\pm 1.35$
	red wine	9.94 $\pm 0.46$	10.33 $\pm 0.42$	10.10 $\pm 0.62$	7.99 $\pm 0.66$	7.14 $\pm 0.22$	6.44 $\pm 0.52$	5.39 $\pm 0.70$
KZR	DW	10.45 $\pm 0.19$	10.82 $\pm 0.26$	10.77 $\pm 0.29$	10.72 $\pm 0.25$	10.84 $\pm 0.27$	10.73 $\pm 0.27$	10.55 $\pm 0.28$
	10 % ethanol	9.36 $\pm 1.24$	9.72 $\pm 1.50$	9.80 $\pm 1.44$	9.62 $\pm 1.55$	9.72 $\pm 1.42$	9.73 $\pm 1.42$	9.52 $\pm 1.58$
	red	10.64	10.70	10.70	6.60	6.13	6.81	6.87



















	wine	$\pm 0.09$	$\pm 0.12$	$\pm 0.07$	$\pm 0.34$	$\pm 0.44$	$\pm 0.54$	$\pm 0.81$
KZR3	DW	9.92 $\pm 0.30$	10.41 $\pm 0.20$	10.39 $\pm 0.21$	10.37 $\pm 0.19$	10.35 $\pm 0.18$	10.55 $\pm 0.34$	10.19 $\pm 0.26$
	10 % ethanol	10.49 $\pm 0.64$	11.04 $\pm 0.32$	11.00 $\pm 0.54$	10.91 $\pm 0.45$	10.90 $\pm 0.31$	11.05 $\pm 0.33$	10.62 $\pm 0.20$
	red wine	11.26 $\pm 1.52$	11.44 $\pm 1.48$	11.24 $\pm 1.33$	8.33 $\pm 0.99$	8.00 $\pm 0.82$	6.66 $\pm 0.61$	5.25 $\pm 0.73$
EST	DW	12.36 $\pm 0.18$	12.42 $\pm 0.36$	12.53 $\pm 0.25$	12.47 $\pm 0.45$	12.51 $\pm 0.31$	12.51 $\pm 0.30$	12.33 $\pm 0.22$
	10 % ethanol	11.54 $\pm 0.86$	11.66 $\pm 0.86$	11.65 $\pm 0.96$	11.65 $\pm 0.87$	11.68 $\pm 0.96$	11.62 $\pm 0.85$	11.36 $\pm 0.96$
	red wine	11.79 $\pm 0.47$	11.89 $\pm 0.50$	11.76 $\pm 0.57$	10.58 $\pm 0.62$	9.95 $\pm 0.24$	9.72 $\pm 0.55$	9.70 $\pm 0.39$
ESTP	DW	12.93 $\pm 0.57$	13.03 $\pm 0.34$	12.95 $\pm 0.30$	12.91 $\pm 0.43$	12.77 $\pm 0.42$	12.90 $\pm 0.45$	12.64 $\pm 0.39$
	10 % ethanol	12.82 $\pm 0.62$	12.99 $\pm 0.60$	12.95 $\pm 0.70$	12.83 $\pm 0.57$	12.76 $\pm 0.78$	12.75 $\pm 0.76$	12.76 $\pm 0.62$
	red wine	12.25 $\pm 0.66$	12.10 $\pm 0.73$	12.04 $\pm 0.70$	9.71 $\pm 0.50$	9.12 $\pm 0.76$	9.07 $\pm 0.60$	9.00 $\pm 0.40$
AVE	DW	10.55 $\pm 0.38$	10.44 $\pm 0.32$	10.44 $\pm 0.32$	10.49 $\pm 0.33$	10.43 $\pm 0.30$	10.49 $\pm 0.37$	10.31 $\pm 0.36$
	10 % ethanol	10.61 $\pm 0.73$	10.51 $\pm 0.69$	10.42 $\pm 0.70$	10.44 $\pm 0.71$	10.44 $\pm 0.72$	10.45 $\pm 0.71$	10.39 $\pm 0.65$
	red wine	10.80 $\pm 0.19$	10.93 $\pm 0.32$	10.81 $\pm 0.24$	10.21 $\pm 0.03$	9.80 $\pm 0.08$	9.67 $\pm 0.08$	9.53 $\pm 0.06$
AVEP	DW	10.38 $\pm 1.26$	11.33 $\pm 1.48$	11.71 $\pm 1.40$	11.84 $\pm 1.62$	12.14 $\pm 1.33$	12.06 $\pm 1.28$	11.75 $\pm 1.48$
	10 % ethanol	12.21 $\pm 0.38$	13.37 $\pm 0.89$	13.87 $\pm 0.73$	13.98 $\pm 0.80$	14.06 $\pm 0.68$	14.04 $\pm 0.88$	13.76 $\pm 0.74$
	red wine	11.37 $\pm 0.47$	12.19 $\pm 0.45$	12.44 $\pm 0.53$	11.72 $\pm 0.71$	11.15 $\pm 0.53$	10.69 $\pm 0.94$	9.59 $\pm 0.95$
MAZ	DW	15.30 $\pm 0.30$	15.93 $\pm 0.23$	15.78 $\pm 0.16$	15.81 $\pm 0.13$	15.74 $\pm 0.28$	15.76 $\pm 0.19$	15.49 $\pm 0.34$
	10 % ethanol	14.53 $\pm 0.65$	15.01 $\pm 0.77$	14.97 $\pm 0.81$	14.89 $\pm 0.94$	14.86 $\pm 0.87$	14.91 $\pm 0.81$	14.56 $\pm 0.84$
	red wine	15.16 $\pm 0.37$	15.43 $\pm 0.40$	15.41 $\pm 0.46$	14.39 $\pm 0.40$	13.32 $\pm 0.56$	12.94 $\pm 0.39$	11.89 $\pm 0.43$
DRA	DW	10.21 $\pm 0.42$	10.73 $\pm 0.48$	10.81 $\pm 0.56$	10.73 $\pm 0.51$	10.68 $\pm 0.44$	10.71 $\pm 0.59$	10.60 $\pm 0.55$
	10 % ethanol	10.00 $\pm 0.40$	10.64 $\pm 0.56$	10.62 $\pm 0.57$	10.60 $\pm 0.51$	10.53 $\pm 0.43$	10.46 $\pm 0.65$	10.24 $\pm 0.74$
	red wine	9.94 $\pm 0.38$	10.24 $\pm 0.38$	10.34 $\pm 0.51$	9.78 $\pm 0.46$	9.42 $\pm 0.42$	9.36 $\pm 0.39$	8.69 $\pm 0.40$

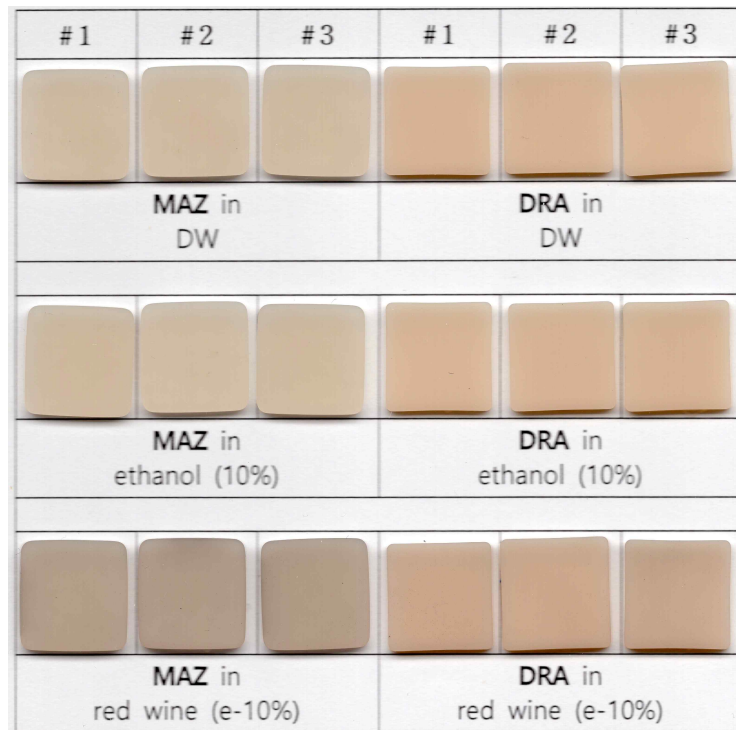


#1	#2	#3	#1	#2	#3
					
CER-2 in DW			CER-3 in DW		
					
CER-2 in ethanol (10%)			CER-3 in ethanol (10%)		
					
CER-2 in red wine (e-10%)			CER-3 in red wine (e-10%)		

#1	#2	#3	#1	#2	#3
					
KZR in DW			KZR-3 in DW		
					
KZR in ethanol (10%)			KZR-3 in ethanol (10%)		
					
KZR in red wine (e-10%)			KZR-3 in red wine (e-10%)		

# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3
					
EST in DW			EST-P in DW		
					
EST in ethanol (10%)			EST-P in ethanol (10%)		
					
EST in red wine (e-10%)			EST-P in red wine (e-10%)		

# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3
					
AVE in DW			AVE-P in DW		
					
AVE in ethanol (10%)			AVE-P in ethanol (10%)		
					
AVE in red wine (e-10%)			AVE-P in red wine (e-10%)		



**Fig. 1.** CAD/CAM block specimens after color stability test (12 weeks).

% 에탄올에서는 반투명도가 유의한 변화 없이 거의 일정하게 유지되었으나, 레드 와인에 침지한 경우에는 28 일째부터 반투명도가 점진적으로 감소되는 양상을 보였다. Cerasmart-300도 마찬가지로 증류수와 10 % 에탄올에서는 반투명도가 유의한 변화 없이 유지되었고, 레드 와인에서는 시간이 경과함에 따라 감소하는 양상을 보였다 ( $p < 0.05$ ).

KZR-CAD 실험군도 Cerasmart와 유사한 색 변화 양상을 보여 물성-강화형인 KZR-CAD HR3의 색 변화가 KZR-CAD HR보다 컸다 (Fig. 3). 특이하게도 KZR-CAD HR은 레드 와인에 침지 4 주 후부터 급격한 색 변화가 진행되었고 시간이 경과함에 따라 약간 색 변화 값이 감소하였으나, KZR- CAD HR3에서는 점진적으로 색 변화가 증가되는 양상을 보였다. 이러한 양상은 하얀 배경과 검정 배경에서도 동일하게 관찰되었다. 침지 전 측정된 초기 반투명도는 각각  $10.15 \pm 0.87$ ,  $10.56 \pm 1.02$ 로 두

재료가 유사하였는데 (Table 2), 두 재료 모두 증류수와 10 % 에탄올에서는 초기 반투명도 수준과 유의한 차이 없이 일정하게 유지되었다. 레드 와인에서 침지기간이 증가됨에 따라 반투명도가 유의하게 감소하는 양상을 보였으며, KZR-CAD HR3의 반투명도 변화량이 KZR- CAD HR 보다 많았다.

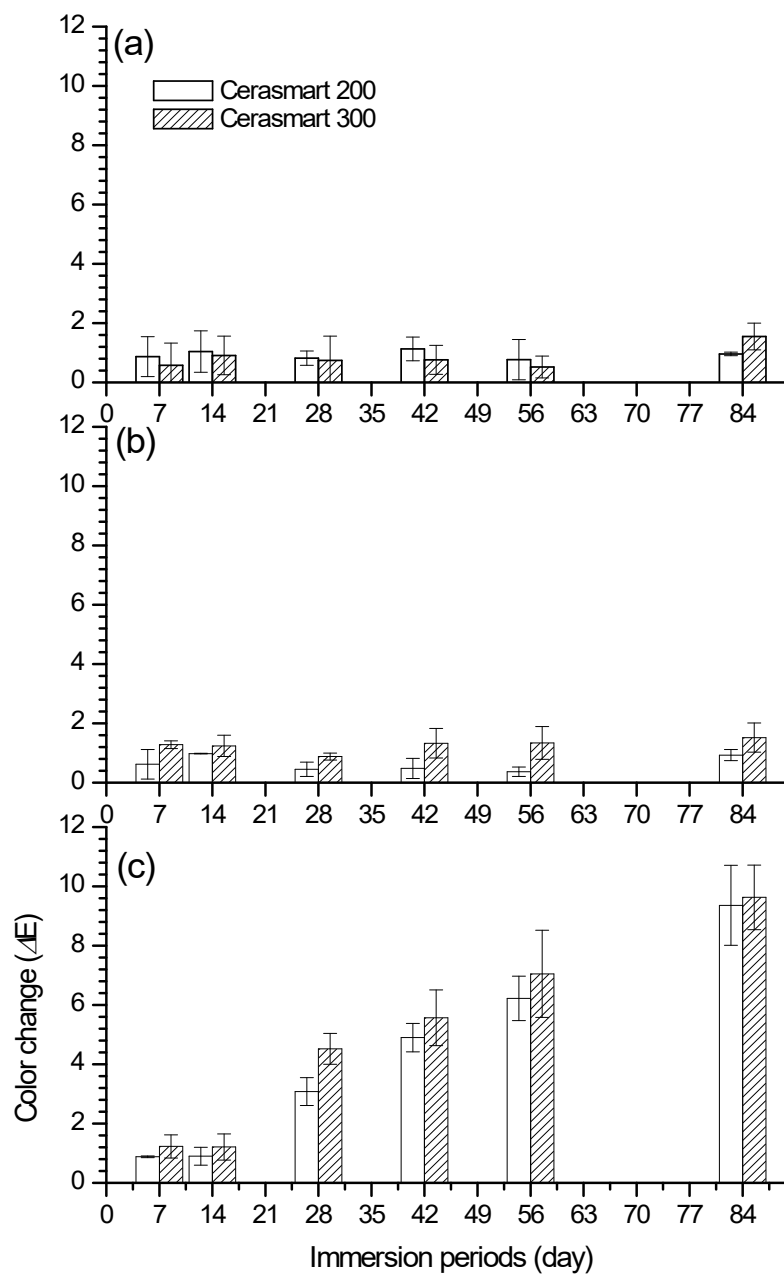
Estelite Block 실험군도 전반적으로 Cerasmart 및 KZR-CAD 실험군과 유사한 양상을 보였다 (Fig. 4). Estelite Block에 비해 Estelite P Block의 색 변화가 더 크게 관찰되었으나, Cerasmart 및 KZR-CAD 실험군 보다 전체적인 색 변화는 적었다. Estelite Block 실험군도 레드 와인에서 침지 4 주 후에 급격한 색 변화가 나타났다. Estelite Block과 Estelite P Block의 초기 반투명도는 각각  $11.90 \pm 0.61$ 와  $12.67 \pm 0.62$ 로 유사하였다. 증류수와 에탄올에 침지한 시편에서는 유의한 반투명도 변화가 관찰되지 않았으나, 레드 와인에서 침지한 경우는 침지기간이 증가됨에 따라 반투명도는 유의하게 감소되었는데, Estelite Block 보다 Estelite P Block의 반투명도 감소 정도가 더 크게 관찰되었다.

Katana Avencia P Block은 증류수에서도 색 변화가 나타났으며 침지 4 주 이후에는 임상적으로 색 차이 확인이 가능한 수준으로 알려진 3.3 이상의 색 변화 ( $\Delta E = 3.67$ )를 보였다 (Fig. 5). Katana Avencia Block 보다 Katana Avencia P Block은 10 % 에탄올에 민감하게 반응하여 높은 색 변화를 보였다. 레드 와인에서는 Katana Avencia Block에 비해 Katana Avencia P Block이 거의 5 배 정도의 큰 색 변화를 보인 반면, Katana Avencia Block은 레드 와인에서 8 주 후에도 다른 실험군에 비해 아주 적은 양의 색 변화 ( $\Delta E = 1.43$ )를 보여, 색 안정성이 우수한 것으로 보였다. Katana Avencia Block과 Katana Avencia P Block의 초기 반투명도는 유사하였고, 증류수와 10 % 에탄올에서는 침지기간이 증가하여도 초기 반투명도는 유의한 변화 없이 일정하게 유지되었다. 그러나, 레드 와인에서 침지한 시편들은 침지기간이 증가됨에 따라 반투명도는 유의하게 감소되는 양상을 보였는데 (Table 2), Katana Avencia 실험군의 경우 다른 실험군에 비해 반투명도 감소 정도가 적었다.

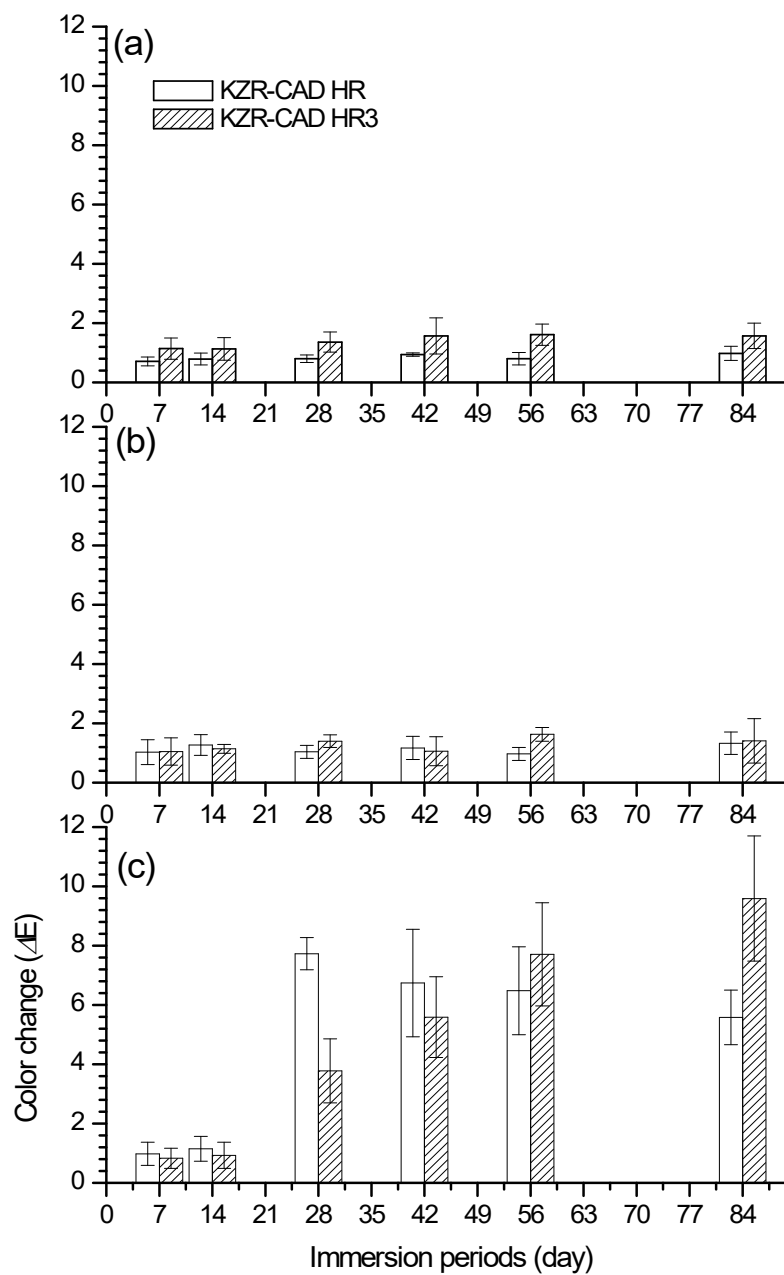
Mazic Duro와 Duro Ace 실험군은 유일하게 물성-강화형이 더 적은

색 변화를 보인 실험군이다 (Fig. 6). 색 변화 정도가 다른 실험군에 비해 크지 않았으며, 검정 바탕에서는 거의 유사한 정도의 색 변화를 보였다. 하얀 바탕에서 Mazic Duro에 비해 Duro Ace의 색 변화가 적은 것을 더 뚜렷이 확인할 수 있었다. 이러한 색 변화는 모두 레드 와인에 침지한 경우에서만 관찰되었으며, 증류수와 10 % 에탄올에 침지한 실험군에서는 침지기간이 증가되어도 유의한 색 변화가 없었다. Mazic Duro의 초기 반투명도 ( $15.00 \pm 0.54$ )는 Duro Ace ( $10.05 \pm 0.37$ )에 비하여 훨씬 높았다. 두 재료 모두 증류수와 10 % 에탄올에서는 반투명도가 유의하게 변화되지 않고 일정하게 유지되었지만, 레드 와인에서는 침지기간이 증가됨에 따라 반투명도도 유의하게 감소하는 양상을 보였는데, 특히 Mazic Duro가 Duro Ace 보다 감소된 정도가 더 크게 관찰되었다.

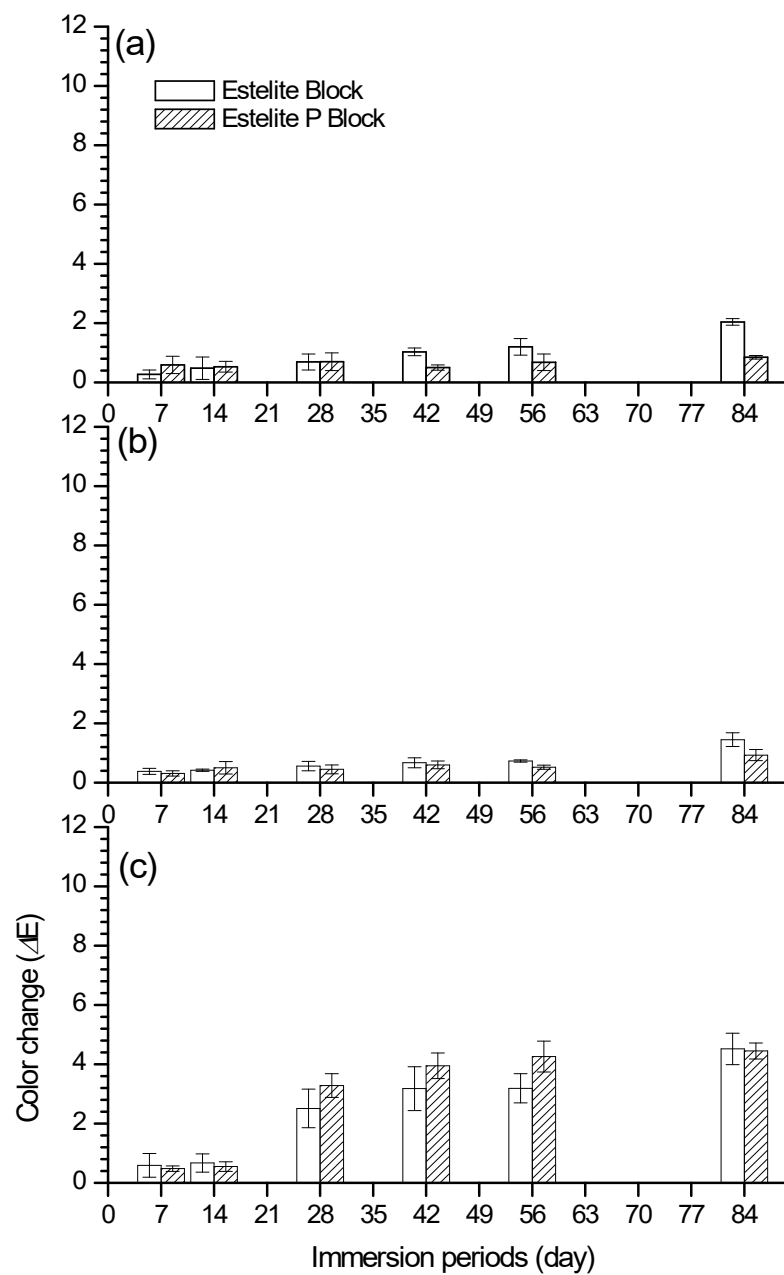
Fig. 7은 1 mm 두께의 하이브리드 블록 (일반형, 물성-강화형) 시편을 30 % HF용액에서 처리하여 실리카 등의 필러를 용해시킨 다음 시편 표면을 주사전자현미경으로 관찰한 사진으로 일반형 블록과 물성-강화형 블록의 미세구조에서 큰 차이가 관찰되었다. CER2와 CER3를 비교하면 물성-강화형 블록의 필러 크기가 전반적으로 더 커진 것을 알 수 있고, KZR과 KZR3의 경우는 물성-강화형 블록에서 필러 크기가 큰 입자가 추가된 것을 알 수 있다. EST와 ESTP의 경우는 물성-강화형 블록에서 필러 크기가 매우 큰 입자가 소량 추가된 것을 알 수 있다. AVE와 AVEP의 경우는 물성-강화형 블록의 필러 입자와 일반형 블록의 필러 입자와는 큰 차이를 보였다. MAZ와 DRA의 경우도 물성-강화형 블록에 크기가 큰 필러 입자가 추가된 것이 관찰되었으며, 사진에서 보이는 둥근 입자들은 불산 처리 시 용해되지 않고 표면에 잔류된 지르코니아 입자로 추정된다.



**Fig. 2.** Color change of Cerasmart 200 and Cerasmart 300 as a function of immersion periods in 3 different solutions: (a) = deionized water, (b) 10 % ethanol, (c) = experimental red wine.

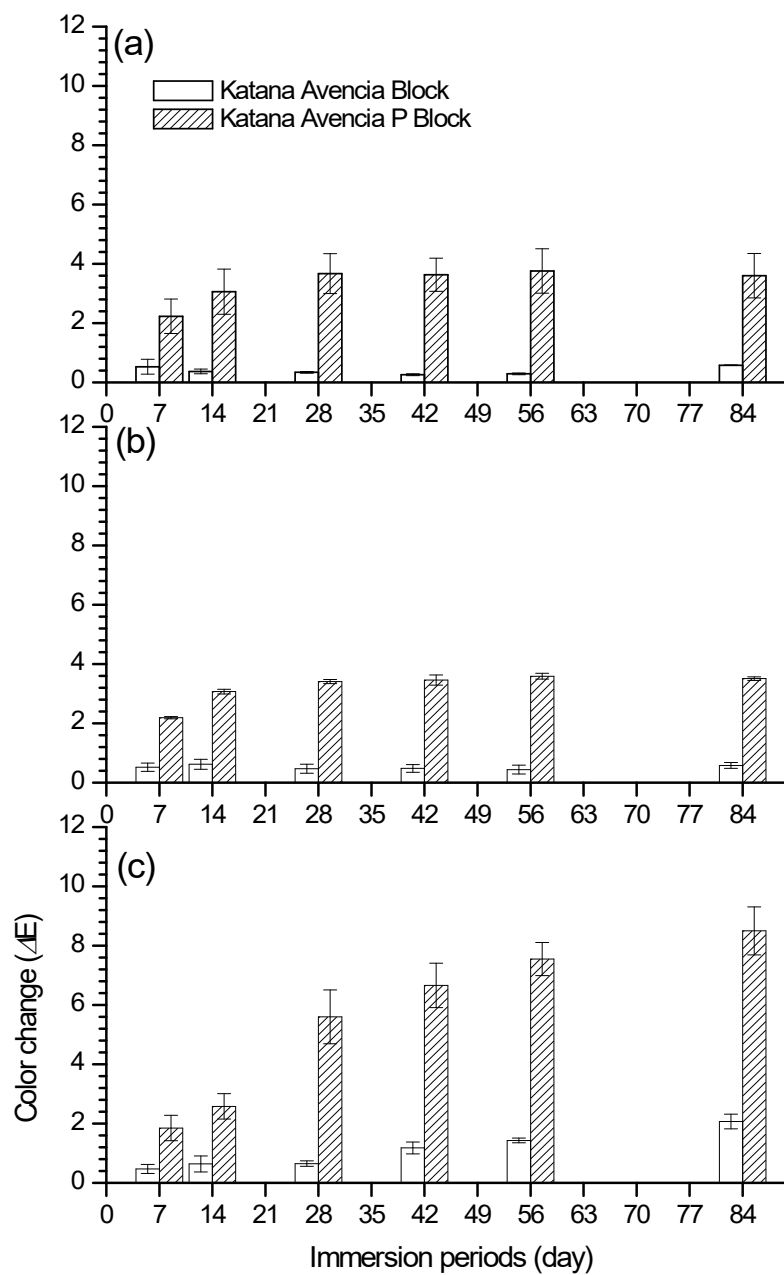


**Fig. 3.** Color change of KZR-CAD HR and KZR-CAD HR3 as a function of immersion periods in 3 different solutions: (a) = deionized water, (b) 10 % ethanol, (c) = experimental red wine.

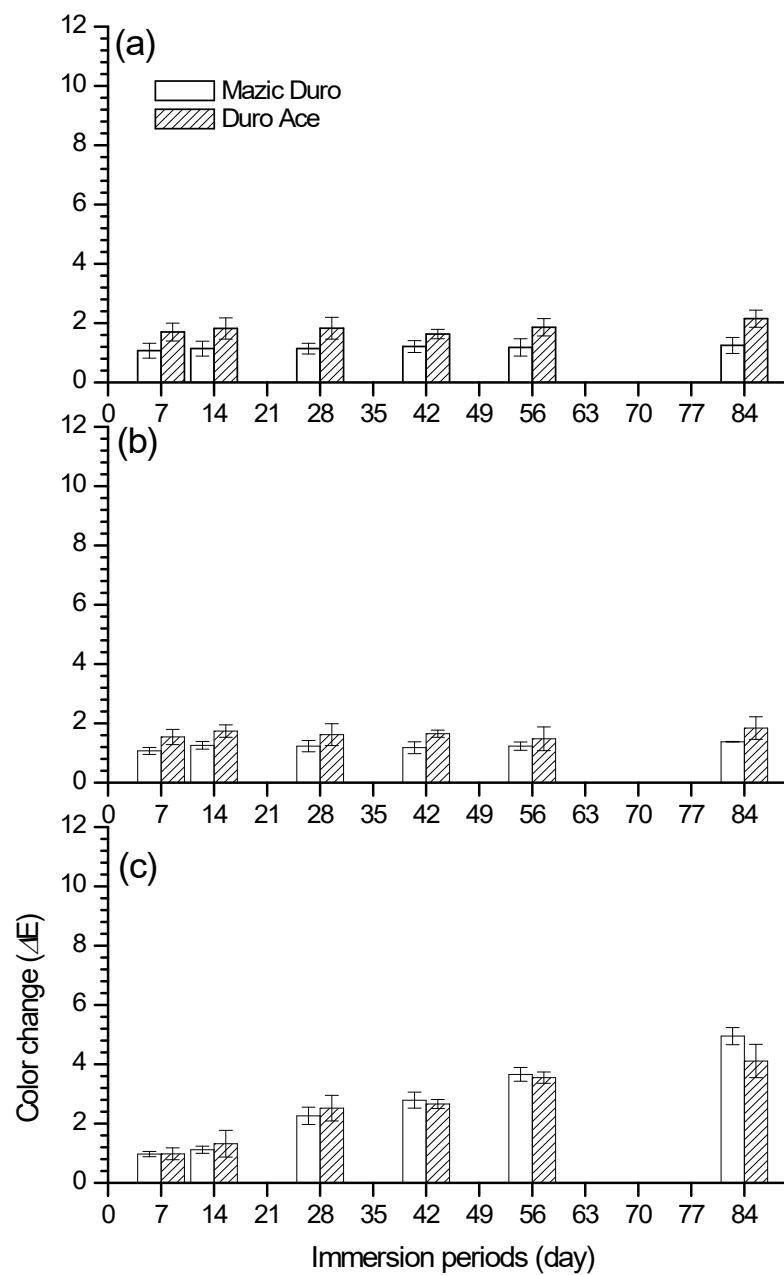


**Fig. 4.** Color change of Estelite Block and Estelite P Block as a function of immersion periods in 3 different solutions: (a) = deionized water, (b) 10 % ethanol, (c) = experimental red wine.

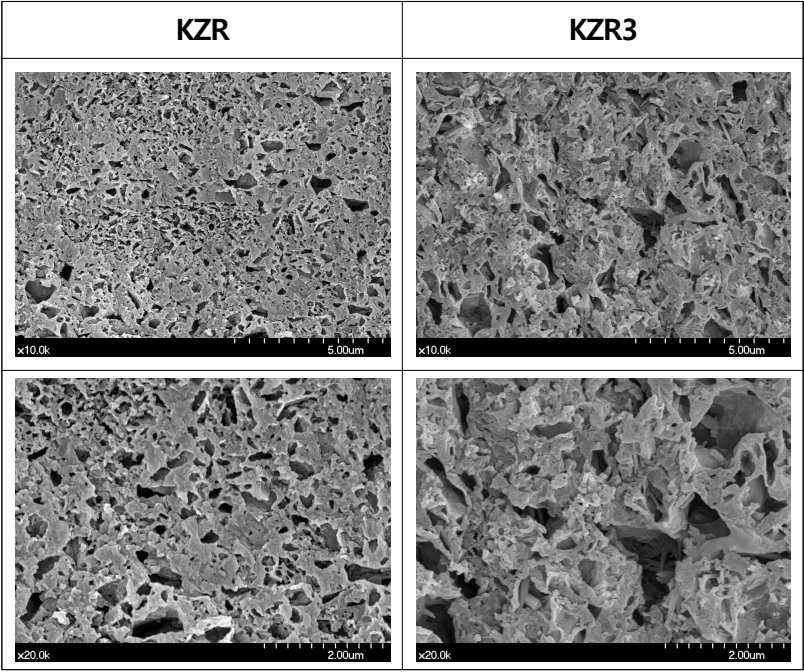
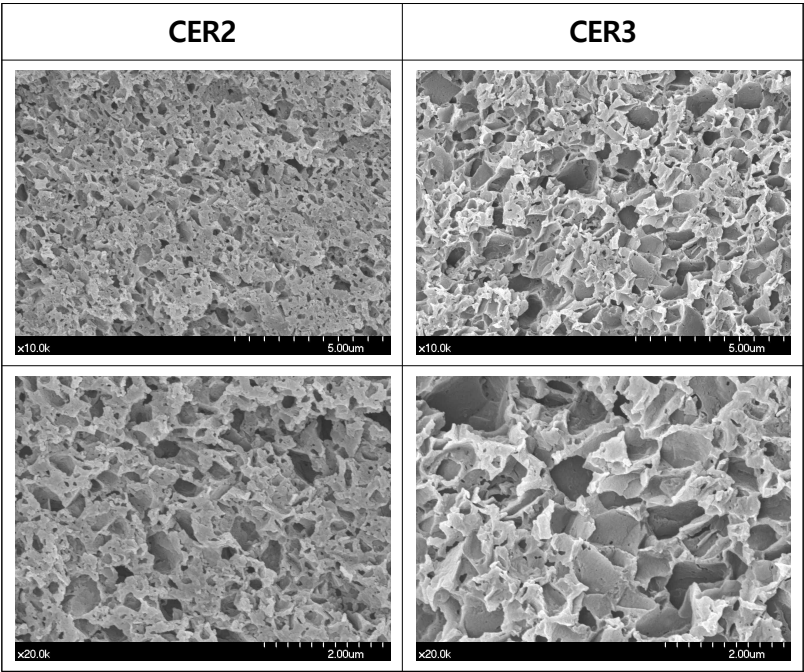


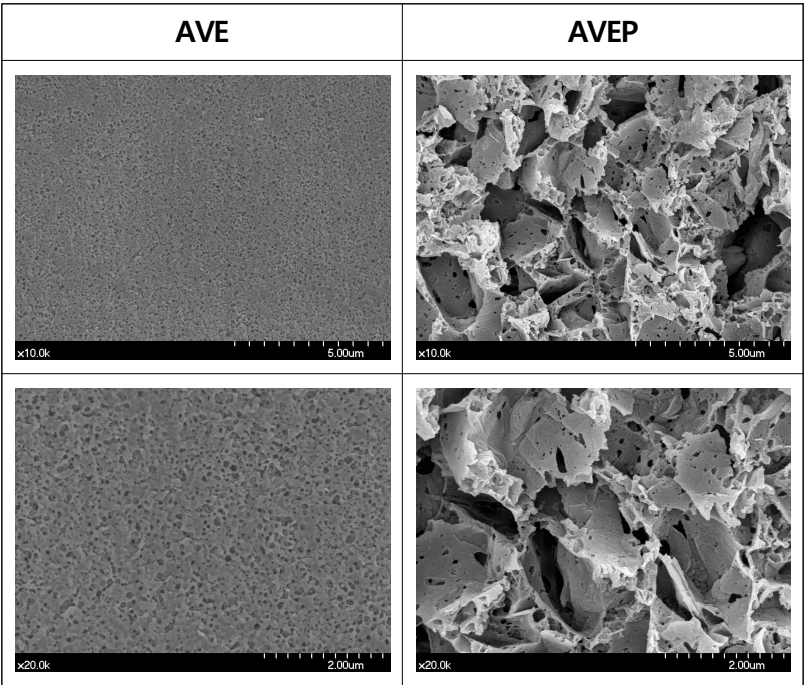
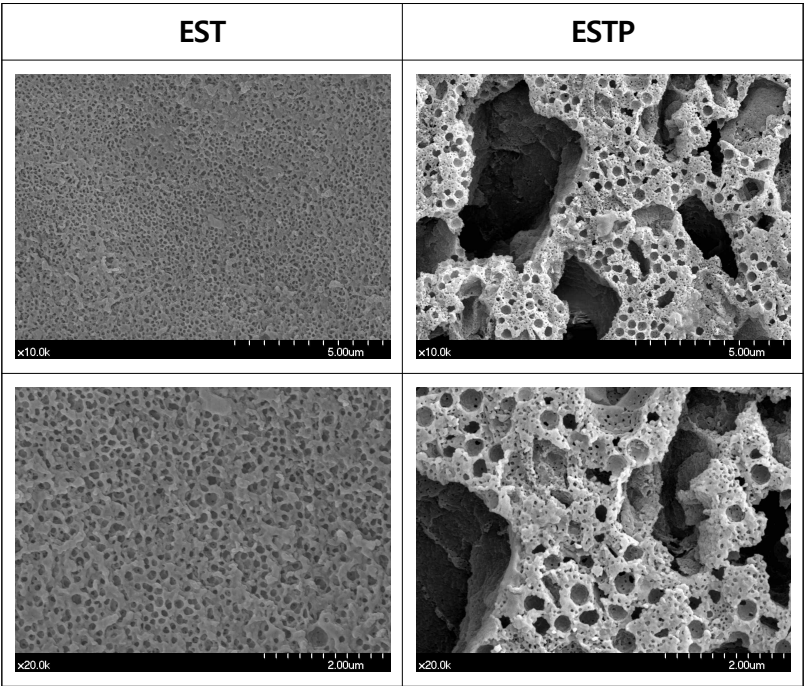


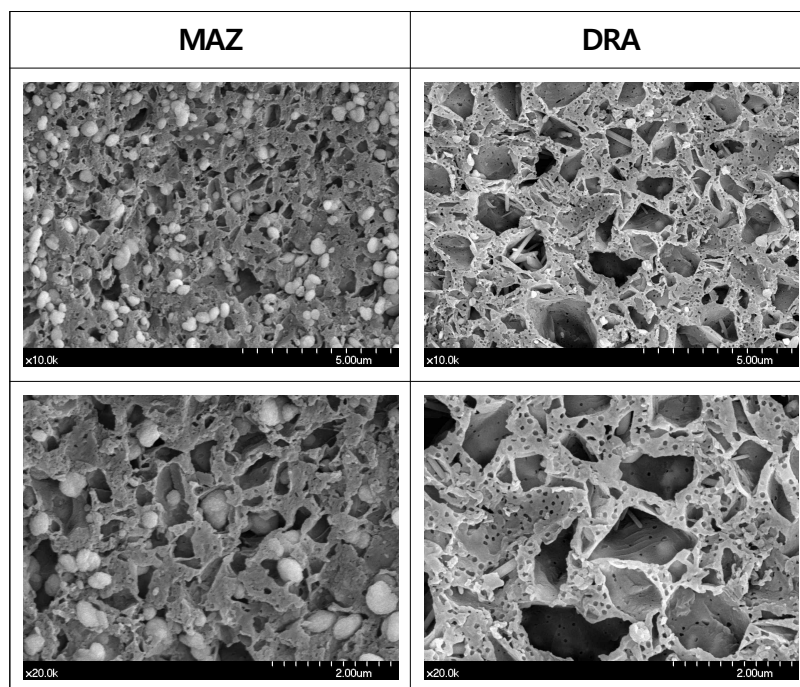
**Fig. 5.** Color change of Katana Avencia Block and Katana Avencia P Block as a function of immersion periods in 3 different solutions: (a) = deionized water, (b) 10 % ethanol, (c) = experimental red wine.



**Fig. 6.** Color change of Mazic Duro and Duro Ace as a function of immersion periods in 3 different solutions: (a) = deionized water, (b) 10 % ethanol, (c) = experimental red wine.







**Fig. 7.** Microstructures of hybrid blocks after 30 % HF solution treatment (left = conventional block, right = reinforced block).

#### IV. 총괄 및 고안

CAD/CAM 하이브리드 블록은 심미 수복 치료에서 광범위하게 쓰이는 추세이며 그에 따라 새로운 심미 수복 재료의 특성에 관한 연구들은 증가하고 있다. 구치부에도 적용될 수 있도록 성능이 개량된 물성-강화형 CAD/CAM 하이브리드 블록은 저작력에 견딜 수 있는 기계적 성질 향상에만 관심이 집중되어 있지만, 구치부 수복에서 심미 재료를 선택하는 환자군에서 수복물의 변색은 심각한 문제가 될 수 있다. 구치부 뿐 아니라 모든 심미 수복물에서 색 안정성을 유지하는 것은 수복물의 성공 여부에 중요한 요소이다 (Abu-Bakr 등, 2000; Bagheri 등, 2005). 심미 수복물은 구강 내에서 타액 뿐 아니라 다양한 음식물과 접촉되어 항상 변색 가능성에 노출되어 있다. 따라서 물성-강화형 CAD/CAM 하이브리드 블록에서도 색 안정성에 대한 평가는 필수적이다. 본 연구에서는 일반형과 물성-강화형 CAD/CAM 하이브리드 블록의 색 안정성과 반투명도 변화를 비교 평가하였다.

치의학에서 색 변화를 평가하기 위해 다양한 방법이 사용되고 있다. 변색 정도는 육안으로 판단할 수도 있지만, 분석 장비를 사용할 경우 더 높은 수준의 정확도, 재현성 및 객관적인 값을 얻을 수 있다 (Bagheri 등, 2005; Khokhar 등, 1991). 대표적인 분석 장비로 spectrophotometer 또는 spectroradiometer가 사용되고 있는데, 본 연구에서는 spectrophotometer로 CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)  $L^*a^*b^*$  색 계수를 측정하였다. CIE  $L^*a^*b^*$  시스템은 육안으로는 분별할 수 없는 미세한 수준의 색 차이도 감지할 수 있어서 심미 수복재 연구에 많이 사용되고 있다 (Abu-Bakr 등, 2000). 시편을 시험용액에 침지하기 전·후 또는 시간 경과에 따른 상대적인 색 변화 ( $\Delta E$ ) 값을 각각 측정된  $L^*a^*b^*$  값으로 계산한다. 연구 목적에 따라 색 계수  $L$ ,  $a$ ,  $b$  각각의 값을 비교한 경우도 있지만 (Bagheri 등, 2005) 전체적인 색 변화를 비교하기 위해서는  $\Delta E$  값이 유의미하기 때문에 본 연구에서는 각각의 값이 아닌 공식에 따라 얻어진  $\Delta E$  값을 비교하였다. 보편적으로  $\Delta E$  값이 1보다 크면 시각적으로 색 변화 (차이) 인지가 가능하고, 3.3보다 크면 임상적으로 받아들여질 수 없을 정도의 색 차이 수준이라고 알려져 있다 (Ruyter 등, 1987; Um 등,

1991). 최근에는 CIE에서 새로 발표한 CIEDE2000과 CIELCH도 사용되고 있다.  $\Delta E$ 와 CIEDE2000  $\Delta E_{00}$ 는 서로 교환이나 대입이 가능하고 높은 상관성을 보인다 (Arocha 등, 2014; Lee, 2005). 본 연구에서는 기존의 연구들과 비교가 용이하도록  $\Delta E$  공식을 이용하였다.

Spectrophotometer에서 시편의  $L^*a^*b^*$  색 계수를 측정하는 경우 배경 없이 시편만 측정할 수 있으며, 흰색이나 검정색 등 유색 아크릴 판 배경에서 측정할 수도 있다. 명도 (value, lightness) 측정에 최소의 영향을 미친다는 이유로 L축에서 중간 값에 위치한 neutral gray를 배경으로 실험하는 경우도 있다 (Patel 등, 2004). 주로 흰색 바탕에서 색 측정을 하는 것이 널리 쓰이고 있으나, 최근의 연구에서는 검정색 바탕에서 색 측정을 하는 것이 더 이상적으로 구강 환경을 재현한다고 제안한 논문도 보고되었는데, 흰색 바탕은 수복물이 치아조직 위에 놓인 상황을, 검정색 바탕은 어두운 구강 환경이나 근관치료가 시행된 치아의 상황을 재현한 것으로 보인다 (Ertas 등, 2006; Ardu 등, 2010; Chakravarthy 등, 2018). Quek 등 (2018)은 CAD/CAM 컴포짓트 레진 블록을 흰색 바탕에서 색 측정을 하였을 때 색 변화가 더 크게 관찰되었다고 하였다. 본 연구에서는 흰색 바탕과 검정색 바탕을 모두 이용하여 색 계수를 측정하여 색 변화와 반투명도 변화를 계산하였다.

치과 수복물의 심미성은 색과 색조, 명도 및 채도 등과 같은 색의 구성요소 및 반투명도/불투명도 등에 영향을 받는다. 자연치나 수복물에 빛이 조사되면 일부는 표면에서 반사되고, 일부는 분산되며, 나머지 빛은 통과한다. 반사되거나 통과된 빛은 눈에 도달하며 뇌 신경에 시각 정보로 입력되어 치아 색으로 인지하게 된다. 이외에도 반투명도, 불투명도, 유백광 및 형광 등이 자연치의 부차적인 광학적 특성을 구성한다. 또한 사용되는 다양한 광원에 따라서도 실제 인지되는 심미 수복물의 색조는 큰 차이가 있을 수 있다 (Wang 등, 2011; Lise 등, 2018; Ahn 등, 2008). 본 연구에서는 색 계수 측정에 D65 광원을 사용하였는데, D65 광원은 자외선을 포함하여 야외에서 자연 상태의 일광 (day light)에 가깝게 표준화된 CIE 표준 광원이다.

자연치와 심미 수복물에 변색을 일으키는 요인은 크게 내재적 요인과

외부적 요인으로 나누어 생각할 수 있다. 내재적 요인에는 재료의 열화 (degradation), 중합 개시제 시스템의 종류, 레진 기질 구성, 레진 모노머의 중합율, 필러 크기와 함량 및 수복물의 연마도 등이 있다 (Patel 등, 2004; Arocha 등, 2014; Quek 등, 2018). 외부적 요인은 구강 위생, 식이 습관 및 흡연 등을 들 수 있다 (Arocha 등, 2014; Acar 등, 2016; Satou 등, 1989). 수복물의 변색에 내재적 요인과 외부적 요인 중 어떤 것이 더 중요한 영향을 미치는 지에 대해서는 다양한 의견들이 제시되고 있는 상황이다 (Stawarczyk 등, 2012; Seyidaliyeva 등, 2020). 본 연구는 내재적 요인에 관하여 평가하기 위하여 외부적 요인, 즉 착색 용액은 한 가지로 설정하였다.

심미 수복재의 색 안정성에 관한 음료의 영향을 연구한 논문에서는 커피, 콜라, 레드 와인 및 차 등을 주로 착색 용액으로 사용하였는데, 대부분의 연구에서 레드 와인이 가장 많은 변색을 유발시키는 음료라고 하였다 (Arocha 등, 2013; Stawarczyk 등, 2012; Topcu 등, 2009; Patel 등, 2004; Quek 등, 2018). 레드 와인의 경우는 탄닌 또는 안토시아닌 등의 페놀릭 화합물들을 함유하기 때문에 수복물의 착색에 영향을 주는 것이라고 한다 (Bagheri 등, 2005). 본 연구에서는 기존의 CAD/CAM 하이브리드 블록과 물성-강화형 CAD/CAM 하이브리드 블록의 색 안정성을 비교하기 위하여 가장 착색을 잘 일으키는 것으로 알려진 레드 와인을 이용하여 실험을 설계하였다. 레드 와인을 이용한 대부분의 연구는 시판되는 상용 레드 와인을 이용하여 실험하였는데, 레드 와인의 경우 에탄올, pH, 탄닌 및 붉은 색소 등 다양한 요소들이 색 변화에 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 이러한 요소를 단순화하여 에탄올과 붉은 색소만의 영향을 보기 위해 실험용 레드 와인을 제작하여 사용하였다. 상용 와인의 알코올 (에탄올) 함유율은 대부분 12~13.5 % 내외인데, 본 연구에서는 증류수 270 mL, 에탄올 30 mL, 표준 적색 색소 (kuromanin chloride) 13 mg을 혼합하여 에탄올 함유율 9.6 % 정도의 실험용 레드 와인 유사 용액을 제조하였다. 레드 와인에 의해 색 변화를 일으키는 것은 에탄올과 산에 의한 레진 기질의 붕괴 (degradation)와 색소의 표면 침착 등에 의한 복합적인 과정으로 탄닌은 색소가 재료의 표면에 흡착되는 것을 증가시켜 변색이 더욱 촉발될 수 있다고 한다 (Quek 등, 2018). 발표된 많



은 연구에서 CAD/CAM 컴포ジット 레진은 일반 수복용 컴포ジット 레진보다 레드 와인에 의한 색 변화 정도가 적었다는 결과들이 발표되었는데, 이는 고온과 고압의 표준화된 제조 공정으로 얻어진 높은 교차결합(cross-linking), 감소된 극성 및 균일한 중합 등에 의한 것이라고 추정하고 있다(Mainjot 등, 2016; Nguyen 등, 2013).

에탄올은 친수기와 소수기의 용해를 촉진시킬 수 있는 양극성 분자로, 많은 연구들은 에탄올이 레진 기질을 연화시켜서 분해시킬 수 있다고 하였다(Ferracane 등, 1992; Deepa 등, 2000; Abu-Bakr 등, 2000). 본 연구에서는 무색소 10 % 에탄올에 침지시킨 8 주 후 시편에서 임상적으로 확인 가능한 수준의 변색 ( $\Delta E$ )이 관찰되었다(CER3 = 1.34, KZR3 = 1.63, AVEP = 3.59, MAZ0 = 1.48). 그러나 유사한 수준의 색 변화가 대조군에서도 확인되었기 때문에 에탄올에 의한 색 변화라고 단정하기는 어렵다. Bagheri 등 (2005)의 연구에서도 10 % 에탄올에서의 색 변화는 대조군인 증류수에서와 유사한 수준이었다고 보고하였다. Heras-Roger 등 (2016)은 oenin (안토시아닌), rutin (플라보놀) 등의 폴리페놀릭 성분이 레드 와인의 강한 색상을 부여하며 에탄올은 폴리머 구조를 약화시켜 착색효과(copigmentation)를 증가시킬 것으로 예상하였지만, 연구 결과에서는 오히려 에탄올이 착색효과를 약화시켰다고 보고하였다. 반면 에탄올의 안토시아닌에 의한 색 변화를 증가시키는 역할을 확인한 연구도 있다. Hwang 등 (2018)은 다양한 산도의 용액에서 에탄올 없이 2.5 % 안토시아닌 용액에 노출되었을 때 4 주 후에 임상적으로 확인 가능한 색 변화가 나타났으며, 12.5 %의 안토시아닌 용액에서는 3 주 후에 유사한 수준의 색 변화가 관찰되었다고 하였다. 반면 40 %의 에탄올이 포함된 2.5 % 안토시아닌 용액에서는 3 주 후에, 12.5 % 안토시아닌 용액에서는 1 주 후에 확인 가능한 색 변화가 나타났다고 보고하였다. 이러한 차이는 실험에 사용된 에탄올의 농도 차이, 와인의 종류, 실험 기간 등에 영향을 받았을 것으로 생각해 볼 수 있다. 본 연구에서 10 % 에탄올에 침지한 시편은 대부분  $\Delta E$  3.3 이하의 색 변화를 보였다. 본 연구에 사용된 모든 시편에서 실험용 레드 와인에 침지한 4 주 후부터 급격한 색 변화를 보였으며, 임상적으로 받아들여질 수 있는 수준 이상의 색 변화가 진행되었다.

착색 용액에 침지한 시간과 관련하여, Ertas 등 (2006)은 커피 제조사 (네슬레)의 설명에 따라 한 잔의 커피를 마시는데 평균적으로 소요되는 시간은 15 분, 1 인당 하루 평균 커피 소비량은 3.2 잔이기 때문에 실험실에서 24 시간 침지하는 것은 일상에서 1 달간 노출되는 시간에 해당될 수 있다고 하였다. 와인과 관련해서는 정보가 일관적이지 않지만, 최대 와인 생산국이자 소비국 중 하나인 프랑스의 통계를 이용해보면, 1 인당 1 년에 소비하는 와인이 약 68 병이고 2 인이 1 병의 와인을 마시는데 보내는 시간이 평균적으로 2.5 시간이라 하였기 때문에 실험실에서 4 주는 일상에서 약 2 년간 노출되는 시간으로 추정할 수 있다 (L'Organization International du vin, WINE FOLLY).

CAD/CAD 하이브리드 블록의 물성을 개선하기 위한 구성 성분 변화는 레진 기질과 세라믹 필러로 분리하여 고려할 수 있다. 구성하는 레진 기질의 성분을 변화시키거나 기존의 기질 구성 비율을 변화시킬 수 있고, 필러의 성분, 입자 크기나 모양 및 함량 등을 변화시킬 수도 있다. CAD/CAM 블록의 피로저항성을 연구한 Shembish 등 (2016)은 컴포짓트 레진 블록이 구치부에 적용될 수 있을 정도의 충분히 강한 물성을 가졌다고 보고하였는데, 나노 필러 입자의 적용으로 필러 함량을 증가시킬 수 있고 고온 및 고압 조건 하에서 균일한 고밀도 블록 제조 공정이 가능하였기 때문이라고 하였다. Alamoush 등 (2018)은 CAD/CAM 컴포짓트 레진 블록의 강도와 탄성계수가 세라믹 필러의 함량과 연관이 있는데, 세라믹 필러의 함량이 증가할수록 미세강도와 초미세강도가 증가하고 탄성계수도 증가되었다고 하였다. 본 연구에서 평가한 5 개 재료군 중 KZR 계열을 제외하고 나머지 4 개 계열은 물성-강화형 블록이 일반형 블록보다 세라믹 필러 함량이 증가되었으나, 물성-강화형 블록의 색 안정성은 오히려 감소된 것으로 관찰되었다. 특히 AVEP는 AVE에 비해 세라믹 필러 함량이 20 % 정도 크게 증가하였지만, 색 안정성은 현저하게 감소된 것으로 관찰되었다. Setz 등 (1991)은 필러의 함량 보다는 레진 기질이 색 변화에 더 많은 영향을 주는 것으로 보인다고 하였다.

기존 연구들의 결과를 보면, 레진 기질의 비율(함량)이 색 변화 정도와 직접적인 상관성은 없는 것으로 보이며, 레진 기질의 함량보다는 레진 기질의 특성이 결정적인 역할을 하는 것으로 보고되고 있다 (Dietschi

등, 1994; Topcu 등, 2009; Patel 등, 2004; Vichi 등, 2004). 컴포ジット 레진의 변색 가능성은 수분 흡수도와 기질의 친수성에 의해 많은 영향을 받을 수 있으며, 흡수된 수분의 총량은 컴포ジット 레진의 레진 기질 함량 뿐 아니라 필러와 레진 기질의 결합 수준에 따라 크게 영향을 받을 수 있다고 한다 (Bagheri 등, 2005). 컴포ジット 레진은 기질이나 필러-레진 계면으로 물이 침투할 수 있는 것으로 알려졌다 (Oysaed 등, 1986). 컴포ジット 레진이 물을 흡수할 수 있다면 이때 수용성 색소도 함께 흡수될 수 있으므로 색 변화 가능성이 증가될 수 있다. 친수성 레진은 소수성 레진에 비해 수분 흡수를 더 많이 하고 수용성 착색 용액에 더 민감하게 반응하는 것이 밝혀졌으며 (Shintani 등, 1985; Um 등, 1991), 반대로 낮은 수분 흡수도를 보이는 컴포ジット 레진은 오일 등과 같은 지용성 용액에 더 민감하게 반응하여 변색한다는 연구 결과가 있다 (Satou 등, 1989).

Gajewski 등 (2012)은 Bis-GMA가 UDMA, TEGDMA 및 Bis-EMA 등에 비해 더 많은 수분을 흡수한다고 하였는데, Bis-GMA는 친수성기가 많아 상대적으로 수분을 많이 흡수하여 친수성 색소 침투를 유도하는 것으로 보인다고 하였다. 수산기 (hydroxyl side group)를 포함하지 않는 UDMA는 Bis-GMA보다 친수성, 점도 및 용해도가 낮아서 수분 흡수도가 적으며, 결과적으로 UDMA 함유 컴포ジット 레진 소재가 상대적으로 강도 증가, 모노머 유출 감소 및 높은 수준의 색 안정성을 가지게 된다. 다른 연구에서도 UDMA가 Bis-GMA 보다 변색 저항성이 있는 이유를 낮은 수분 흡수도와 용해도에 기인한다고 추정하였다 (Pearson 등, 1989; Khokhar 등, 1991). 또한 대부분의 컴포ジット 레진 제조사들은 BPA의 생체적합성 문제로 Bis-GMA 보다는 UDMA를 주요 모노머로 사용하고 있으며 (Mourouzis 등, 2020; Nguyen 등, 2013), 본 연구에서도 MAZ를 제외한 모든 하이브리드 블록에서 UDMA를 주요 레진 성분으로 함유하고 있는데, 일반형 하이브리드 블록인 Mazic Duro의 성분 중 Bis-GMA를 UDMA로 대체하고 세라믹 필러의 함량을 증가시킨 물성-강화형 Duro Ace에서만 유일하게 개선된 색 안정성이 관찰되었다. 그렇지만, 향상된 색 안정성이 레진 기질의 변화와 필러 함량 증가 중 어떤 요소에 더 영향을 받는지에 대해서는 추가 연구가 필요하다.

세라믹 필러 입자는 직접 수분을 흡수하지 않아도 필러-레진 기질

결합이 충분하지 않은 경우 그 계면에서 착색이 진행될 수 있으므로 레진 기질의 유형만큼이나 필러 표면의 실레인 처리도 컴포짓트 레진의 변색에 중요한 역할을 한다는 연구가 보고되었다 (Ardu 등, 2006; Ardu 등, 2010; Topcu 등, 2009). 이러한 관점에서 필러의 실레인 처리 과정은 컴포짓트 레진의 장기적인 색 안정성 확보에 중요하다. 기존의 연구에 의하면 필러와 레진 기질 사이의 미세한 빈 공간(기공)은 착색 물질의 거주지 또는 침투 통로로 의심된다고 하였고, 낮은 중합정도도 변색을 증가시키는 주요 요소일 수 있다고 하였다 (Mair, 1991; Rueggeberg 등, 1990). Lauvahutanon 등 (2017)은 나노-필러 입자의 적절한 실레인 처리 과정은 어려운 작업일 수 있다고 하였다. 따라서 CAD/CAM 하이브리드 블록에 첨가된 나노 필러들의 실레인 처리 효과 차이 또는 다양한 성분의 필러 입자에 대한 실레인 처리 효과들이 하이브리드 블록의 색 안정성에 영향을 줄 수 있다.

컴포짓트 레진 블록의 중합 수축시 나노 필러들은 레진 기질에 함입되어 함께 수축될 수 있으므로 나노 필러와 레진 기질 계면이 탈락될 가능성이 매우 적지만, 필러 입자 크기가 커지면 중합 수축시 필러 계면에 집중된 응력의 균일한 분산이 어려워 레진과 필러의 결합이 부분적으로 탈락되어 계면에 gap이 형성될 수 있는데, 이 경우 블록의 색 안정성에 나쁜 영향을 줄 수 있으며, 이 때 필러의 실레인 처리 효과도 계면의 안정성 유지에 큰 영향을 주게 된다. 본 연구에서 관찰한 시편들의 SEM 사진에서 각 실험군에서 첨가된 필러의 크기와 형상들은 큰 차이를 보였고, 이들 필러와 레진 기질과의 결합력과 결합 내구성이 각 하이브리드 블록의 색 안정성에 중요한 역할을 한 것으로 보인다.

시편 표면에 노출된 실리카계 글라스 필러를 불산으로 용해시킨 후 하이브리드 블록의 표면을 관찰한 SEM 사진에서 물성-강화형 블록이 일반형 블록에 비해 크기가 더 큰 필러 입자로 구성된 것으로 확인되어 필러 입자의 크기와 색 안정성에 상관성이 있을 것으로 추정할 수 있다. Aydin 등 (2020)도 필러의 함량보다는 함유된 필러 입자의 크기와 레진 모노머의 특성이 CAD/CAM 블록의 변색과 더 깊은 관련성이 있음을 제시하였다. 3M ESPE에서 출시한 구성 성분이 유사하지만, 필러 크기가 다른 2 가지 컴포짓트 레진 (Filtek Supreme, Filtek Z250)을 24 시간

시험 용액에 침지한 후 평가한 연구에서 상반된 변색 결과가 발표되기도 하였다. Ertas 등 (2006)의 연구에서는 micro-hybrid 컴포짓트 레진인 Filtek Z250에서 더 향상된 색 안정성을 보인 반면, Topcu 등 (2009)의 연구에서는 nano-hybrid 컴포짓트 레진인 Filtek Supreme에서 더 향상된 색 안정성을 보였다고 하였다. 동일한 제품으로 유사한 연구를 진행한 Khosravi 등 (2016)은 micro-hybrid 컴포짓트 레진인 Filtek Z250보다 nano-filled 컴포짓트 레진인 Filtek Z350 XT가 더 우수한 색 안정성을 보인다고 보고한 바 있어서 필러 크기와 색 안정성의 직접적인 상관성 제시는 어려울 것으로 보인다.

치과용 심미 수복물의 반투명도는 주로 translucency parameter (TP) 또는 contrast ratio (CR)로 평가하고 있다. 본 연구에서는 흰색 바탕과 검정색 바탕에서 색 계수를 측정하여 TP를 계산하였는데, 더 큰 TP 값은 더 투명함을 의미하며, 완전히 투명한 재료는 100, 불투명한 재료는 0으로 표시된다. Hasegawa 등 (2000)은 전치부 치경부의 TP는 5 정도이고, 전치부 절단면의 TP는 15 정도라고 하였는데, 본 연구에서 평가한 시편을 착색 용액에 침지하기 전에 측정한 TP는 10 - 15 범위를 보였다. 치과용 심미 수복재의 광학적 특성을 고려할 때 반투명도는 심미성을 만족시키는데 중요한 요소이다 (Awad 등, 2015; Buyukkaplan 등, 2017). 반투명도에 따라 수복물의 심미성이 많이 달라질 수 있어 제조사마다 동일한 색상의 블록에서 다른 반투명도 (LT, HT) 버전을 제작하여 출시하고 있다. 반투명도는 블록의 두께와 표면 거칠기 뿐 아니라 블록의 구성 성분에 따라 차이가 있을 수 있는데 주로 필러와 레진 기질 사이의 굴절률 차이, 필러 크기와 함량 등에 영향을 받을 수 있다고 한다 (Awad 등, 2015; Lise 등, 2018; Azzopardi 등, 2009). 필러 입자의 크기가 증가되면 빛의 상호작용으로 빛 흡수가 증가되고, CAD/CAM 블록 안에서 여러 방향으로 (다방성의) 빛 분산을 야기될 수 있다. 또한 반투명도는 수분 흡수, 화학적 분해 및 미세균열 등에 영향을 받으므로 시간이 경과됨에 따라 변화될 수 있다. Buyukkaplan 등 (2017)은 반투명도가 높은 재료가 낮은 재료에 비해 레드 와인에 대한 반투명도 변화 저항성이 높다고 보고하였다. Ozarslan 등 (2018)은 연마과정을 마친 고-반투명 CAD/CAM 블록이 일반-반투명 CAD/CAM 블록에 비해 색 안정성이 우수하다고

하였다.

본 연구에서 평가한 블록 중 AVE, AVEP 및 DRA 블록이 12 주 침지 후 가장 낮은 반투명도 변화 ( $\Delta TP = 1.25 - 2.6$ )를 보였다. AVE/AVEP 실험군은 다른 실험군에 비해 반투명도 변화량이 적었는데, 색 안정성이 가장 낮은 것에 비교하면 특이한 부분이다. 일반형 AVE와 물성-강화형 AVEP 모두 비교적 반투명도 유지가 잘 되는 것으로 미루어볼 때, 세라믹 필러의 함량 증가는 반투명도와 연관성이 없을 것으로 보인다. 대부분의 하이브리드 블록에서는 레드 와인에 침지한 경우 4 주 후부터 확연히 감소된 반투명도를 확인할 수 있었다. CAD/CAM 컴포ジット 레진 블록을 1 주간 레드 와인에 침지한 Quek 등 (2018)의 연구에서는  $\Delta TP$  값이 2.01 - 3.87로 모든 시편에서 1 이상이라고 보고하였다. 본 연구에서는 1 주 후에는 1 이상의 TP값 변화가 없었다. 대부분의 시편에서 용액에 침지한 4 주 후부터 반투명도 변화 ( $\Delta TP$ )가 1 이상으로 확연히 나타났는데, 아마도 상용 레드 와인과 실험용 레드 와인의 차이 등 시험방법 차이에 의한 것으로 보인다. CER2, CER3, AVEP, MAZ 및 DRA 등은 필러로 바륨 글라스를 함유하고 있다. 이 중 CER2와 CER3의 경우는 침지기간이 경과함에 따라 반투명도가 지속적으로 감소되었는데, 12 주 경과한 후에는 베이스 라인의 50 % 정도로 반투명도가 크게 감소되었지만, AVEP와 DRA에서는 반투명도가 비교적 잘 유지되었다. 따라서 단순히 세라믹 필러 함량이나 어떤 특정한 성분의 필러가 반투명도 유지에 기여하기 보다는 필러 크기, 다양한 레진 기질의 비율, 실레인 처리 효과 및 제조 공정 등의 다양한 요소가 복합적으로 관여하는 것으로 사료된다.

## V. 결 론

국내·외 5 개 제조사에서 출시된 일반형과 물성-강화형 CAD/CAM 하이브리드 컴포지트 레진 블록 5 쌍의 색 안정성과 반투명도를 비교하였다. 3 종의 시험 용액 (증류수, 10 % 에탄올, 실험용 레드 와인)에 블록 시편을 넣고 37 °C에서 일정기간 (침지 전, 침지 1 주, 2 주, 4 주, 6 주, 8 주, 12 주) 침지한 후에 색 계수를 측정하여 색 변화 ( $\Delta E$ )와 반투명도 변화 ( $\Delta TP$ )를 계산하였고, SEM으로 시편의 표면을 관찰한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 대부분의 실험군은 10 % 에탄올에서 심미적으로 방해되는 수준 이하의 색 변화 ( $\Delta E < 3.3$ )를 나타냈고, 반투명도도 침지기간에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $p > 0.05$ ).
2. 실험용 레드 와인에서는 육안으로 충분히 식별 가능한 수준의 색 변화가 관찰되었다. 실험용 레드 와인에 침지한 실험군의 경우는 침지기간이 증가될수록 색 변화도 증가하는 양상을 보였다. 반투명도 또한 유의하게 감소하였는데 주로 용액에 침지한 4 주 후 측정부터 반투명도가 큰 폭으로 감소되는 것을 관찰할 수 있었다.
3. Mazic Duro/Duro Ace를 제외한 대부분의 실험군에서 물성-강화형 블록이 일반형 블록보다 색 안정성이 낮은 것으로 나타났다.
4. Katana Avencia P Block은 Katana Avencia Block에 비해 현저히 저하된 색 안정성을 나타냈는데, 증류수와 10 % 에탄올에서도 육안으로 확인 가능한 색 변화와 반투명도 감소를 보였다.

필러 입자의 특성과 색 안정성의 연관성에 관한 후속 연구가 필요할 것으로 생각한다.

## 참고문헌

- Abu-Bakr N, Han L, Okamoto A, Iwaku M. Color stability of compomer after immersion in various media. *J Esthet Dent*. 2000; 12(5):258-263.
- Acar O, Yilmaz B, Altintas SH, Chandrasekaran I, Johnston WM. Color stainability of CAD/CAM and nanocomposite resin materials. *J Prosthet Dent*. 2016;115(1):71-75.
- Ahn JS, Lee YK. Difference in the translucency of all-ceramics by the illuminant. *Dent Mater*. 2008;24:1539-1544.
- Alamouh RA, Silikas N, Salim NA, Al-Nasrawi S, Satterthwaite JD. Effect of the composition of CAD/CAM composite blocks on mechanical properties. *BioMed Res Int*. 2018;2018:4893143.
- Alharbi A, Ardu S, Bortolotto T, Krejci I. Stain susceptibility of composite and ceramic CAD/CAM blocks versus direct resin composites with different resinous matrices. *Odontology*. 2017; 105(2):162-169.
- Ardu S, Braut V, Gutemberg D, Krejci I, Dietschi D, Feilzer AJ. A long-term laboratory test on staining susceptibility of esthetic composite resin materials. *Quintessence Int*. 2010;41(8):695-702.
- Ardu S, Krejci I. Biomimetic direct composite stratification technique for the restoration of anterior teeth. *Quintessence Int*. 2006;37:167-174.
- Arocha MA, Basilio J, Llopis J, Di Bella E, Roig M, Ardu S, Mayoral JR. Colour stainability of indirect CAD-CAM processed composites vs. conventionally laboratory processed composites after immersion in staining solutions. *J Dent*. 2014;42(7):831-838.
- Arocha MA, Mayoral JR, Lefever D, Mercade M, Basilio J, Roig M. Color stability of siloranes versus methacrylate-based composites after immersion in staining solutions. *Clin Oral Investig*. 2013; 17(6):1481-1487.
- Awad D, Stawarczyk B, Liebermann A, Ilie N. Translucency of esthetic dental restorative CAD/CAM materials and composite



- resins with respect to thickness and surface roughness. *J Prosthet Dent.* 2015;113(6):534–540.
- Aydın N, Karaoğlu S, Oktay EA, Kılıçarslan MA. Investigating the color changes on resin-based CAD/CAM Blocks. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(2):251–256.
- Azzopardi N, Moharamzadeh K, Wood DJ, Martin N, van Noort R. Effect of resin matrix composition on the translucency of experimental dental composite resins. *Dent Mater.* 2009;25(12):1564–1568.
- Bagheri R, Burrow MF, Tyas M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *J Dent.* 2005;33(5):389–398.
- Bansal K, Acharya SR, Saraswathi V. Effect of alcoholic and non-alcoholic beverages on color stability and surface roughness of resin composites: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2012;15(3):283–288.
- Buyukkaplan SU, Özarslan MM, Barutçigil Ç, Arslan M, Barutçigil K, Yoldan EE. Effects of staining liquids and finishing methods on translucency of a hybrid ceramic material having two different translucency levels. *J Adv Prosthodont.* 2017;9(5):387–393.
- Chakravarthy Y, Clarence S. The effect of red wine on colour stability of three different types of esthetic restorative materials: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2018;21(3):319–323.
- Chang JY, Chen WC, Huang TK, et al. Evaluating the accuracy of tooth color measurement by combining the Munsell color system and dental colorimeter. *Kaohsiung J Med Sci.* 2012;28(9):490–494.
- Deepa CS, Krishnan VK. Effect of resin matrix ratio, storage medium, and time upon the physical properties of a radiopaque dental composite. *J Biomater Appl.* 2000;14:296–315.
- Dietschi D, Campanile G, Holz J, Meyer JM. Comparison of the color stability of ten new-generation composites: an in vitro study. *Dent Mater.* 1994;10(6):353–362.
- Ertuş E, Güler AU, Yücel AC, Köprülü H, Güler E. Color stability of

- resin composites after immersion in different drinks. *Dent Mater J.* 2006;25(2):371-376.
- Ferracane JL, Marker VA. Solvent degradation and reduced fracture toughness in aged composites. *J Dent Res.* 1992;71(1):13-19.
- Ferracane JL. Resin composite-State of the art. *Dent Mater.* 2011; 27(1):29-38.
- Gajewski VE, Pfeifer CS, Froes-Salgado NR, Boaro LC, Braga RR. Monomers used in resin composites: degree of conversion, mechanical properties and water sorption/solubility. *Braz Dent J.* 2012;23:508-514.
- Hasegawa A, Ikeda I, Kawaguchi S. Color and translucency of in vivo natural central incisors. *J Prosthet Dent.* 2000;83(4):418-423.
- Heras-Roger J, Díaz-Romero C, Darias-Martín J. What gives a wine its strong red color? Main correlations affecting copigmentation. *J Agric Food Chem.* 2016;64(34):6567-6574.
- Hwang S, Chung SH, Lee JT, Kim YT, Kim YJ, Oh S, Yeo IL. Influence of acid, ethanol, and anthocyanin pigment on the optical and mechanical properties of a nanohybrid dental composite resin. *Materials (Basel).* 2018;11(7):1234.
- Hwang S, Lee JT, Kim YT, Chung SH, Yeo ISL. Color changes of oral composite resins and decrease in surface micro hardness caused by commercial alcoholic drinks. *Transylv. Rev.* 2017;25(14): 3717-3723.
- Khokhar ZA, Razzoog ME, Yaman P. Color stability of restorative resins. *Quintessence Int.* 1991;22:733-737.
- Khosravi M, Behnaz E, Forough N, Soraya K. Color stability of nanofilled and microhybrid resin-based composites following exposure to chlorhexidine mouthrinses: An in vitro study. *J Dent (Tehran).* 2016;13(2):116-125.
- Lauvahutanon S, Shiozawa M, Takahashi H, Iwasaki N, Oki M, Finger WJ, Arksornnukit M. Discoloration of various CAD/CAM blocks after immersion in coffee. *Restor Dent Endod.* 2017;42(1): 9-18.

- Lee A, Swain M, He L, Lyons K. Wear behavior of human enamel against lithium disilicate glass ceramic and type III gold. *J Prosthet Dent*. 2014;112(6):1399–1405.
- Lee YK. Comparison of CIELAB DeltaE and CIEDE2000 color-differences after polymerization and thermocycling of resin composites. *Dent Mater*. 2005;21(7):678–682.
- Lee YK. Influence of filler on the difference between the transmitted and reflected colors of experimental resin composites. *Dent Mater*. 2008;24(9):1243–1247.
- Lise DP, Van Ende A, De Munck J, Yoshihara K, Nagaoka N, Cardoso Vieira LC, Van Meerbeek B. Light irradiance through novel CAD–CAM block materials and degree of conversion of composite cements. *Dent Mater*. 2018;34(2):296–305.
- L'Organization International du vin (OIV)
- Mainjot AK, Dupont NM, Oudkerk JC, Dewael TY, Sadoun MJ. From Artisan to CAD–CAM blocks: State of the art of indirect composites. *J Dent Res*. 2016;95(5):487–495.
- Mair LH. Staining of in vitro subsurface degradation in dental composite with silver nitrate. *J Dent Res*. 1991;70(3):215–220.
- Mourouzis P, Andreasidou E, Samanidou V, Tolidis K. Short-term and long-term release of monomers from newly developed resin-modified ceramics and composite resin CAD–CAM blocks. *J Prosthet Dent*. 2020;123(2):339–348.
- Nguyen JF, Migonney V, Ruse ND, Sadoun M. Properties of experimental urethane dimethacrylate-based dental resin composite blocks obtained via thermo-polymerization under high pressure. *Dent Mater*. 2013;29(5):535–541.
- Oysaéd H, Ruyter IE. Water sorption and filler characteristic of composites for use in posterior teeth. *J Dent Res*. 1986;65(11):1315–1318.
- Özarslan MM, Büyükkaplan UŞ, Barutçigil Ç, Özarslan M, Barutçigil K, Türker N. Assessing staining resistance of a CAD/CAM inter-penetrating network composite material. *Head Face Med*. 2018;

14(1):27.

- Patel SB, Gordan VV, Barrett AA, Shen C. The effect of surface finishing and storage solutions on the color stability of resin-based composites. *J Am Dent Assoc*. 2004;135(5):587-594.
- Pearson GJ, Longman CM. Water sorption and solubility of resin-based materials following inadequate polymerization by a visible-light curing system. *J Oral Rehab*. 1989;16(1):57-61.
- Quek SHQ, Yap AUJ, Rosa V, Tan KBC, Teoh KH. Effect of staining beverages on color and translucency of CAD/CAM composites. *J Esthet Restor Dent*. 2018;30(2):e9-e17.
- Rueggeberg FA, Margeson DH. The effect of oxygen inhibition on unfilled/filled composite system. *J Dent Res*. 1990;69(10):1652-1658.
- Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater*. 1987;3(5):246-251.
- Satou N, Khan AM, Matsumae I, Satou J, Shintani H. In vitro color change of composite-based resins. *Dent Mater*. 1989;5(6):384-387.
- Schroeder T, da Silva PB, Basso GR, Franco MC, Maske TT, Cenci MS. Factors affecting the color stability and staining of esthetic restorations. *Odontology*. 2019;107(4):507-512.
- Setz J, Geis-Gerstorfer J, Lin W. The effect of inorganic fillers on the properties of light-curing composites. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 1991;46(10):657-660.
- Seydaliyeva A, Rues S, Evagorou Z, Hassel AJ, Rammelsberg P, Zenthöfer A. Color stability of polymer-infiltrated-ceramics compared with lithium disilicate ceramics and composite. *J Esthet Restor Dent*. 2020;32(1):43-50.
- Shembish FA, Tong H, Kaizer M, Janal MN, Thompson VP, Opdam NJ, Zhang Y. Fatigue resistance of CAD/CAM resin composite molar crowns. *Dent Mater*. 2016;32(4):499-509.
- Shintani H, Satou J, Satou N, Hayashihara H, Inoue T. The effects of various finishing methods on staining and accumulation of *Streptococcus mutans* HS-6 on composite resins. *Dent Mater*.

1985;1(6):225-227.

Stawarczyk B, Sener B, Trottmann A, Roos M, Ozcan M, Hämmerle CH. Discoloration of manually fabricated resins and industrially fabricated CAD/CAM blocks versus glass-ceramic: effect of storage media, duration, and subsequent polishing. *Dent Mater J*. 2012;31(3):377-383.

Topcu FT, Sahinkesen G, Yamanel K, Erdemir U, Oktay EA, Ersahan S. Influence of different drinks on the colour stability of dental resin composites. *Eur J Dent*. 2009;3(1):50-56.

Um CM, Ruyter IE. Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence Int*. 1991;22(5):377-386.

Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. *Dent Mater*. 2004;20(6):530-534

Wang H, Xiong F, Zhenhua L. Influence of varied surface texture of dentin porcelain on optical properties of porcelain specimens. *J Prosthet Dent*. 2011;105(4):242-248.

WINE FOLLY([winefolly.com/tips/how-many-glasses-bottle-wine/](http://winefolly.com/tips/how-many-glasses-bottle-wine/))

세계와 한국의 인구현황 및 전망. 2019.

통계청 장래인구추계. 2019.

-ABSTRACT-

# Evaluation of Color Stability and Transparency in Reinforced CAD/CAM Hybrid Block

Yeong-Ah Kang, *D.D.S.*

Department of Dental Biomaterials Science,  
Graduate School, Seoul National University

(Directed by Professor Bum-Soon Lim, *Ph.D.*)

Increased interest in aesthetic of dental patients and entering an aging society, the role of aesthetic restoration materials has become important not only in the anterior teeth but also in the posterior teeth. Composite resins and dental ceramics have been selectively used according to application area as representative aesthetic restorative material for dental treatments.

The CAD/CAM hybrid composite resin block, which combines the advantages of the two materials, was introduced, broadening the scope of aesthetic treatment. Recently, manufacturers have released a physically reinforced CAD/CAM hybrid composite resin block that can be applied to posterior area with sufficient mechanical properties to withstand strong masticatory force. It is assumed that the composition and microstructure of the block were changed to enhance the properties. In this paper, we tried to evaluate the impact of such changes on the aesthetic, especially on color stability, which is the main characteristic of CAD/CAM hybrid composite resin block.

90 square-shaped (10 mm × 10 mm, thickness 2 mm) samples of

CAD/CAM hybrid composite resin blocks (Cerasmart 200, Cerasmart 300; KZR-CAD HR, KZR-CAD HR3; Estelite Block, Estelite P Block; Katana Avencia Block, Katana Avencia P Block; Mazic Duro, Duro Ace) were prepared and polished (SiC abrasive paper, # 2000). Samples were kept in 3 types of staining solution (distilled water, 10 % ethanol, experimental red wine) for 12 weeks. To prepare 10 % ethanol, we put distilled water (270 mL) and ethanol (30 mL) into a 500 mL triangular flask, sealed them with parafilm, and mixed them evenly for one hour in the stirrer. 13 mg of kuromanin chloride (CAS No. 7084-24-4), a standard substance used as edible red pigment, distilled water (270 mL), ethanol (30 mL) were put in, sealed with parafilm, and mixed evenly with the stirrer for one hour to prepare experimental red wine.

A spectrophotometer (CiXX0, X-rite, USA) was used to determine the color of the samples in CIE  $L^*a^*b^*$  system. Color measurements were performed before staining (baseline), after 1, 2, 4, 6, 8, 12 week storage in staining solution in 3 different conditions – without any backgrounds and with white and black background. For each sample, 3 repeated measurements were taken to determine the colorimetric values. Color change ( $\Delta E^*$ ) and translucency parameter (TP) changes were calculated. The measured values were statistically analyzed using Tukey-multiple comparison test ( $p = 0.05$ ), and the following results were obtained:

1. Immersion in distilled water or 10 % ethanol made no significant color or translucency changes ( $p > 0.05$ ).
2. Immersion in experimental red wine made significant changes on color and translucency of all samples, specially from after 4 weeks ( $p < 0.05$ ).
3. In most experimental groups, except for the Mazic Duro/Duro Ace, physically reinforced blocks were found to have lower color stability than conventional blocks.

4. Katana Avencia P Block showed significantly reduced color stability compared to Katana Avencia Block. Even in distilled water and 10 % ethanol, Katana Avencia P Block showed visible color changes and decreased translucency.
5. In experimental red wine, the amount of translucency change in KZR-CAD HR3 was higher than that of KZR-CAD HR.
6. Estelite Block/Estelite P Block experimental group and the Mazic Duro/Duro Ace experimental group showed a lower degree of color change than the others, while the physically reinforced type Duro Ace showed somewhat higher color stability and better translucency than the Mazic Duro.

---

**Key words:** CAD/CAM hybrid block, physically reinforced, color stability, translucency, experimental red wine

**Student number:** 2014-22039